

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

**Departamento de Análisis Geográfico Regional y
Geografía Física**



**INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y
DESARROLLO URBANO: APROXIMACIÓN
METODOLÓGICA POR MEDIO DE TELEDETECCIÓN**

**MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE
DOCTOR POR M^a Milagros Serrano Cambroneró**

Bajo la dirección del Doctor:
Juan A. Córdoba Ordóñez

Madrid, 2001

ISBN: 84-669-1972-4

TESIS DOCTORAL

**INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y
DESARROLLO URBANO: APROXIMACIÓN
METODOLÓGICA POR MEDIO DE TELEDETECCIÓN**

M^a Milagros Serrano Cambroneró

Director: Dr. Juan A. Córdoba Ordóñez
Catedrático de Análisis Geográfico Regional

**DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS GEOGRÁFICO REGIONAL
Y GEOGRAFÍA FÍSICA**

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

AGRADECIMIENTOS

La presentación y defensa de esta Tesis Doctoral es el final de un periodo de formación académica que empezó en Junio de 1989 cuando un profesor, que posteriormente se convirtió en mi director de Tesis, me abrió la posibilidad de hacer el Doctorado.

Muchos años han pasado desde entonces y muchas han sido las circunstancias que han retrasado la culminación de este trabajo. Esta demora ha ido acompañada de la paciencia que han mostrado las personas que han seguido más de cerca la evolución de mi investigación, destacando especialmente la de mi director.

Son muchas, quizás demasiadas las personas y organismos que han hecho posible la realización de esta Tesis Doctoral, por lo que espero sinceramente que en este momento de recapitulación no quede nadie sin mencionar. Todas ellas, de una forma u otra, han adoptado un papel fundamental en diversos momentos y han contribuido para que este proyecto saliera adelante.

Quiero agradecer al director de esta Tesis Juan Córdoba el apoyo prestado; le agradezco su claridad de ideas y la gratuidad de las aportaciones en un mundo donde todo se paga; así mismo le agradezco el aliento e insistencia en momentos de dejadez.

En el ámbito institucional debo agradecer al Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física el apoyo prestado. Quisiera resaltar la disponibilidad y buen hacer de su secretaria, Mercedes García Pascual. También quiero dar las gracias a algunos profesores del Departamento de Geografía

Humana, entre ellos a Ana Sabaté. Por último quiero dar las gracias a los compañeros que forman parte del Taller de Cartografía.

Resulta contradictorio reconocer las aportaciones de quien ha sido la principal causa de que este trabajo de investigación no se finalizara antes; me refiero a la empresa INFOCARTO S.A. Paradójicamente, ha sido ella la que me ha permitido disponer de gran parte de la información que compone el cuerpo de base de esta investigación. No puedo olvidarme de lo mucho que he aprendido profesionalmente durante los años que formé parte del equipo de esta empresa y tampoco debo olvidarme de las facilidades proporcionadas siempre por su director, Antonio Yagüe. Dentro de este ámbito he trabajado con muchas personas - más tarde amigos - que me enseñaron, ayudaron y animaron a continuar. Sin duda, entre ellos está ahora uno de mis mejores amigos, Javier García.

A todos mis amigos, palabra muy fácil de decir, pero muy difícil de conseguir, - vosotros sabéis quienes sois-, muchas gracias. Todos vosotros habéis colaborado en algún momento de este trabajo; a algunos os ha tocado proporcionarme material y a otros apoyarme en los momentos más difíciles.

Gracias a mis padres y hermanos por estar siempre a mi lado.

Para terminar, me gustaría responder y agradecer a todas aquellas personas que en todos estos años me habéis preguntado: *"Mila, ¿ y la Tesis?"*

Pues bien... ¡¡Aquí está!!".

Exposición de Motivos

Introducción

Hipótesis

Objetivos

Estructura de trabajo

Gran parte de los problemas que acontecen en la sociedad actual son problemas de carácter geográfico porque afectan al espacio. Nosotros como geógrafos, estamos obligados a intentar al menos aportar soluciones de tipo práctico que ayuden y contribuyan a su solución o al menos a su aminoración, es decir, tenemos la obligación de poner en práctica los conocimientos geográficos teóricos, los métodos y las técnicas para entender y resolver problemas concretos. Debemos realizar por tanto una Geografía aplicada.

Uno de los campos de aplicación de la Geografía consiste en el empleo de técnicas de análisis geográfico relacionadas con el desarrollo de la informática, la cartografía digital, los procesos de simulación y la modelización tanto en el medio físico como en el humano. El desarrollo de modelos por consiguiente constituye uno de los objetivos fundamentales de aplicación de los conocimientos geográficos.

Los científicos se basan en la expresión lógico-matemática para entender y explicar los problemas que afectan a la sociedad. Los geógrafos no dominamos esta técnica y por ello recurrimos a modelos como una forma de entender y simplificar la realidad. Los modelos nos ayudan igualmente a predecir y pronosticar posibles actuaciones.

A pesar de los problemas que plantea, la construcción y utilización de modelos constituye una de las alternativas que permite comprender e interpretar la gran cantidad y complejidad de fenómenos que afectan a la sociedad, ofreciendo explicaciones globales.

El desarrollo de la informática facilita en gran medida la modelización en Geografía. En este momento se entiende por informática un concepto amplio que engloba ordenadores, periféricos de entrada y salida de datos, cartografía digital

y programas específicos que permiten generar y manipular información geográfica.

El espacio urbano se caracteriza por un gran dinamismo y por la multiplicidad de funciones que coexisten en él. La percepción, explicación y comprensión de los cambios y la no menos importante aplicación de los resultados obtenidos a espacios similares no puede realizarse sin la utilización de modelos. Por estas razones, los modelos urbanos son quizás la herramienta más útil para entender los problemas y la dinámica producida en los espacios urbanos; es por ello que la Geografía Urbana fue la primera rama de Geografía Humana en consolidar los modelos.

Las relaciones existentes entre el sistema de transporte y el desarrollo urbano han sido determinantes en la elaboración de modelos urbanos debido a que el sistema de transporte es un elemento estructurador clave en la configuración y articulación del territorio, que condiciona la estructura urbana metropolitana.

La evolución del sistema de transporte ha tenido una repercusión directa en la morfología y estructura de la ciudad y por tanto en los modelos de desarrollo urbano. La utilización masiva del automóvil privado y el consiguiente aumento del número de coches, consecuencia directa del aumento del nivel de vida de la población, implica la construcción y la mejora de una red de infraestructuras de transporte adaptada a las nuevas necesidades. En este sentido comienza la construcción de vías de circulación rápidas (autovías, autopistas, orbitales, etc.) que dan como resultado la aparición de nuevos modelos de desarrollo urbano.

Los hechos mencionados empiezan a reflejarse en la Comunidad de Madrid a finales de la década de los años ochenta. La evolución favorable de la actividad económica y las tendencias socio-territoriales en particular las referentes a una creciente suburbanización de la residencia generaron dos procesos paralelos de fuerte intensidad: en primer lugar una intensificación de la movilidad regional y

en segundo lugar un enorme crecimiento de la motorización. Ambos procesos generan un importante aumento de la intensidad de circulación en las carreteras de la Comunidad de Madrid, poniéndose de manifiesto la insuficiencia de estas redes. Las soluciones más determinantes propuestas por la Administración en este sentido fueron la transformación y mejora de la red radial (entre ellas las seis carreteras radiales se transforman en autovías) y la construcción y cierre de carreteras orbitales. De ello deriva la aparición de un nuevo modelo de desarrollo urbano en la Comunidad de Madrid.

Los modelos de desarrollo urbano están cambiando, pero también están cambiando las fuentes y las técnicas que permiten la construcción de dichos modelos. El desarrollo experimentado por las fuentes de información (imágenes de satélite, cartografía digital, bases de datos digitales), el auge de técnicas que permiten el análisis y gestión del territorio (Sistemas de Información Geográfica) y la incorporación de teorías desarrolladas por otras disciplinas (teoría del caos, teoría catastrofista, fractales) son factores que permiten una gran transformación en el desarrollo de modelos urbanos.

Creemos que todos estos nuevos desarrollos y avances en las fuentes de información, en las técnicas y en las nuevas teorías aportadas por otras disciplinas, constituyen el futuro de la investigación geográfica y por ello deben empezar a utilizarse de forma generalizada y no ser obviados en los trabajos actuales tendentes a solventar (al menos en parte) los problemas que afectan actualmente a nuestra sociedad.

La elaboración de este trabajo pretende ser un ejemplo de integración de estas nuevas teorías, fuentes y técnicas si bien es necesario señalar que debido a la rapidez con que se suceden estas novedades¹ y debido a nuestra formación matemática y física (parte de las nuevas teorías se basan en conceptos físicos y matemáticos) los resultados que se obtengan pueden no cumplir todas nuestras expectativas.

El espacio analizado en este trabajo es la Comunidad de Madrid y específicamente el espacio que circunda las carreteras radiales de esta Comunidad. El periodo de estudio comprende desde el año 1987 hasta el 1997.

La elección de la Comunidad de Madrid como objeto de estudio se basa en las siguientes consideraciones:

- El gran dinamismo existente debido a su condición de gran metrópoli y a la vez capital de España.
- Familiaridad y proximidad. La Comunidad de Madrid es un espacio conocido por nosotros, al ser el espacio donde vivimos y desarrollamos la mayor parte de nuestras actividades; esta razón implica un mayor conocimiento y un mejor entendimiento de los procesos que en ella se suceden.
- La disponibilidad de varias imágenes de satélite de la Comunidad de Madrid. Este último aspecto puramente económico también es determinante debido al alto coste de las imágenes de satélite.

Las carreteras sobre las cuales vamos a centrar este trabajo son las seis carreteras nacionales de carácter radial que confluyen en Madrid. La adopción de estas carreteras y no otras se basa en:

¹ En el transcurso de este trabajo han aparecido imágenes de satélite que hubieran permitido obtener otros resultados, nuevas versiones de software y nueva cartografía digital.

- Estas carreteras constituyen las principales vías de acceso desde la corona metropolitana. Se trata de vías rápidas con dos o tres carriles en cada sentido, previstas en principio para el tráfico interurbano de largo recorrido. Estas carreteras han sido fundamentales en el crecimiento del espacio suburbano ya que definen unos corredores donde la accesibilidad con respecto a la capital es mucho mayor que en los espacios intersticiales existentes entre ellas.
- El espacio que rodea a las carreteras orbitales y el espacio situado entre estas carreteras orbitales y la intersección con las radiales, constituye en la actualidad el espacio más dinámico de la Comunidad de Madrid. Sus efectos empiezan a reflejarse en el espacio actualmente, pero cuando nosotros comenzamos este estudio estas consecuencias aún no eran visibles.

El periodo de estudio analizado 1987-1997 es un periodo de gran dinamismo que empieza con un auge económico propicio para la construcción y mejora de las infraestructuras de transporte, fundamentalmente en la red viaria de carreteras.

El desarrollo de esta tesis se enmarca dentro de la Nueva Geografía Regional, aplicando los conocimientos geográficos (Geografía Aplicada) a un problema concreto que es el desarrollo urbano y las infraestructuras de transporte en la Comunidad de Madrid. Para lograr este objetivo, vamos a utilizar modelos - concretamente urbanos- como herramientas prácticas que nos ayuden a comprender aspectos del mundo real. Estos modelos se realizarán con las nuevas técnicas de imágenes de satélite (Teledetección) y Sistemas de Información Geográfica.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo consiste en el desarrollo de una metodología basada en la detección y ponderación de los cambios de usos del suelo (fundamentalmente el urbano) producidos en torno a las carreteras radiales entre 1987-1997; esta metodología se establecerá a partir de imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica.

La finalidad de la metodología es doble: por una parte va a permitir verificar o refutar la hipótesis de trabajo y por otra su utilización en trabajos posteriores relacionados con las infraestructuras de transporte y el desarrollo urbano, permitiendo con ello establecer modelos globales que puedan ser aplicados a espacios con características similares.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

La hipótesis de trabajo está estructurada en tres puntos:

1. ¿Existen nuevas pautas de desarrollo urbano?
2. ¿Realmente el desarrollo urbano y la especialización funcional tienen relaciones directas con el sistema viario?
3. ¿Puede demostrarse esto sentando las bases de una Geografía Aplicada con el uso de las nuevas fuentes, técnicas y teorías?

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo general y la comprobación de la hipótesis de trabajo se van a realizar mediante los siguientes objetivos específicos:

1. Estudiar los cambios producidos en los modelos de desarrollo urbano.
2. Analizar las fuentes de información cartográfica digital y las técnicas disponibles en la actualidad para el estudio de los espacios urbanos (centrándonos de manera específica en la Comunidad de Madrid), con objeto de seleccionar aquellas que resulten más adecuadas para nuestro estudio.
3. Obtener un mapa con las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid.
4. Realizar un mapa de usos del suelo de la Comunidad de Madrid en el año 1987.
5. Elaborar un mapa de usos del suelo de la Comunidad de Madrid en el año 1997 combinando técnicas de clasificación automática de imágenes de satélite y fotointerpretación.
6. Obtener mapa de cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre 1987-1997.
7. Establecer el área de influencia de las carreteras radiales y cartografiar los cambios de usos del suelo producidos en ella.
8. Analizar los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid y en las carreteras seleccionadas.
9. Elaborar un mapa de distancias de la Comunidad de Madrid.
10. Generar un coeficiente de ponderación que permita medir la intensidad de los cambios en los usos del suelo en función de la distancia al centro.

Los objetivos planteados se van a desarrollar mediante la estructuración del trabajo en las siguientes partes:

PARTE 1. Esta parte desarrolla las bases teóricas de la modelización en Geografía, centrándose en los modelos de desarrollo urbano y la importancia que en estos modelos ejercen los sistemas de transporte, en el marco de una Geografía que pretende aplicar los conocimientos geográficos a la resolución de problemas que afectan a la sociedad; es decir, en el marco de una Geografía Aplicada.

Esta primera parte muestra la evolución producida en los modelos de desarrollo urbano y en las fuentes, técnicas y teorías que permiten su construcción en la actualidad.

PARTE 2. La segunda parte presenta todos aquellos aspectos relacionados con la información utilizada en el desarrollo de este trabajo. Está dividida en dos apartados que constituyen dos capítulos independientes.

El primer apartado (Capítulo 2) describe la información digital disponible por parte de cualquier investigador para el estudio del espacio urbano en la Comunidad de Madrid. Este capítulo tienen como objetivo justificar la información digital ya existente que resulta más adecuada para esta investigación.

El segundo apartado (Capítulo 3) desarrolla los aspectos relacionados con el tratamiento de la información seleccionada para adecuarla a las necesidades de este estudio; es decir, en esta parte se muestran todos los procesos efectuados a la información que se utiliza como base o punto de partida. En este caso ya no se trata de información disponible para cualquier investigador, sino de información que se ha generado específicamente para este trabajo.

PARTE 3. La parte tercera integra los resultados obtenidos en partes anteriores y establece una metodología que permiten detectar y ponderar los cambios de usos del suelo en torno a las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid, incluyendo a la vez distancia como factor determinante de los cambios. Esta tercera parte está dividida en dos apartados que forman dos capítulos independientes.

El primer apartado (Capítulo 4) se centra en primer lugar en los aspectos metodológicos que permiten la detección de cambios en torno a las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid y en segundo lugar en el análisis de estos cambios.

El segundo apartado (Capítulo 5) examina los aspectos metodológicos que permiten realizar un análisis de los cambios en función de la distancia al centro de la ciudad y una ponderación de estos.

La parte final de este trabajo está formada por las conclusiones obtenidas tras su realización, la bibliografía, un anexo estadístico y unos listados de figuras, tablas, gráficos y mapas.

Debido al gran número de mapas existentes en el trabajo hemos decidido incluir la cartografía en otro volumen que contiene exclusivamente documentación cartográfica en formato A3. Todos los mapas están incluidos en este volumen. En este volumen se incluyen ejemplos de imágenes de satélite; no todos ellos pueden considerarse como mapas en sí mismos pues carecen de coordenadas geográficas pero a pesar de ello hemos decidido incluirlos como “mapas” para facilitar con ello su localización y consulta dentro del trabajo.

PARTE 1: MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO TEÓRICO PARA DEFINIR LA HIPÓTESIS DE TRABAJO

1.1. NECESIDAD Y UTILIDAD DE UNA GEOGRAFÍA APLICADA

Uno de los primeros planteamientos que nos hicimos a la hora de abordar este trabajo fue si debía acometerse desde un enfoque teórico o desde un enfoque práctico. Finalmente decidimos adoptar un enfoque práctico debido a las siguientes consideraciones:

- La sociedad actual está sumida en una gran cantidad de problemas que requieren soluciones y consideramos que estas soluciones sólo pueden aportarse desde un punto de vista práctico.
- Las nuevas herramientas que permiten gestionar y manipular la información geográfica aumentan y se desarrollan rápidamente (Sistemas de Información Geográfica, imágenes de satélite, cartografía digital, datos digitales, estadísticas avanzadas, etc.). Estas nuevas técnicas, en muchas ocasiones, no están controladas por geógrafos sino por otros profesionales (informáticos, ingenieros, etc.) que en algunos casos están menos preparados que nosotros para aportar soluciones a los problemas actuales; por ello nosotros, como geógrafos, debemos dominar estas técnicas para poder colaborar con otros especialistas en la resolución de los problemas actuales.
- En relación con el apartado anterior hay que destacar la demanda que existe en la sociedad de profesionales técnicos. En este sentido, los planes de estudio actuales (en el curso académico 2000-2001 ha comenzado un nuevo plan) intentan dar respuesta a esta necesidad incorporando cada vez más el número de asignaturas (obligatorias y optativas) de tipo práctico que utilizan las nuevas herramientas disponibles.

Con esta reflexión no queremos decir en absoluto que la formación teórica no sea necesaria, al contrario, consideramos que es fundamental para poder entender e interpretar correctamente los problemas de la sociedad actual.

La diferenciación entre Geografía teórica, pura o básica y Geografía práctica, activa o aplicada es una de las múltiples acepciones establecidas tradicionalmente en Geografía. Si bien es cierto que existen diferencias entre los conceptos de Geografía teórica, pura o básica y Geografía práctica activa o aplicada, nosotros, en este trabajo, no tendremos en cuenta estas diferencias, por no considerarlas determinantes en el desarrollo de los objetivos planteados. Los conceptos utilizados serán Geografía Teórica y Geografía Aplicada.

Muchos autores han puesto de manifiesto la dualidad existente entre Geografía Teórica y Geografía Aplicada. P.George (1980) fue uno de los primeros autores que señaló que desde el principio de la ciencia geográfica existía, *“una Geografía estrictamente explicativa que se niega a todo compromiso utilitario y una Geografía práctica que servía a los intereses militares, políticos y económicos.”*

R. Palm y A. Brazel (1992, cit. Pacione, M. 1999) han establecido posteriormente, la diferenciación entre Geografía pura o básica y Geografía aplicada. La Geografía básica se encarga del desarrollo de nuevas teorías y métodos que ayudan a explicar los procesos espaciales. La Geografía Aplicada, por el contrario, usa teorías, métodos y técnicas existentes para entender o resolver problemas concretos. Estos autores han señalado: *“la investigación aplicada en cualquier disciplina es lo que mejor se entiende, en contraste con la investigación pura o básica”*.

En España destaca la aportación de Casas Torres, J.M.(1964) quien diferencia entre una Geografía utilitaria y una Geografía científica, destacando que la ciencia geográfica ha progresado siempre gracias a la Geografía utilitaria: *“El armónico conjunto de conocimientos que hoy llamamos Geografía sólo ha podido estructurarse y llegar a su elaboración actual, después de que millares de exploradores, navegantes, viajeros, comerciantes y científicos de muchas y diversas ramas del saber han recorrido el mundo en todas direcciones recogiendo datos y reuniendo información”*.

La diferencia entre teoría y práctica no es exclusiva de la Geografía. Esta división aparece en cualquier ciencia, en cualquier disciplina, ya sea física o humana: Geología, Física, Sociología, etc. En el caso concreto de la Geografía, la aplicación de conocimientos geográficos se centra en el análisis y la evaluación de los problemas que afectan al mundo real y en la búsqueda de alternativas o posibles soluciones a los problemas medioambientales, sociales, urbanos, etc. Para ello, utiliza bases, métodos, principios, técnicas y teorías desarrolladas por la Geografía Teórica.

La sociedad actual está inmersa en una gran cantidad de problemas mayoritariamente geográficos (tanto físicos como humanos), porque afectan al espacio: desigualdades, polución atmosférica, hídrica o edáfica, deforestación, problemas de urbanización, de población, etc. En este sentido, puede afirmarse que, si bien la aplicación de los conocimientos geográficos ha sido importante históricamente, nunca esta aplicación ha sido tan trascendental y determinante como en la actualidad.

En ningún momento estamos desestimando la importancia de la Geografía Teórica. Por el contrario pensamos que es imposible proporcionar alternativas o soluciones a los problemas actuales sin un buen conocimiento de los principios, métodos y técnicas geográficas existentes. La Geografía Teórica es fundamental para la Geografía Aplicada, en primer lugar porque proporciona los sistemas y la organización necesaria para resolver problemas concretos, referentes tanto al medio físico como al humano; y en segundo lugar porque las teorías sociales proporcionan una normativa estándar de las condiciones sociales, actuales y futuras, que pueden definirse en términos de objetivos morales (Sant, M., 1982, cit. Pacione, M.,1999).

Por otro lado, si los geógrafos queremos poner en práctica nuestros conocimientos para identificar las causas y proporcionar posibles alternativas a los problemas actuales, no podemos desestimar teorías, conceptos, técnicas y metodologías provenientes de diversas disciplinas afines. En este sentido R. J. Johnston et al (2000) señalan que no existe un cuerpo teórico o técnico específico de Geografía Aplicada, sino que es un subcampo de la Geografía caracterizado por aproximarse a los problemas del mundo real aportando posibles soluciones y tomando para ello la metodología y técnica más adecuadas en cada caso.

A.J. Herbertson (1899, cit. Pacione, M., 1999), proporcionó una de las primeras definiciones de Geografía Aplicada. Este autor consideraba la Geografía Aplicada, como una forma especial de entender la Geografía, un punto de vista concreto, una especialización de los estudios; para un hombre de negocios este punto de vista sería económico para un médico climático y demográfico. En esta definición de finales del XIX destacaban temas fundamentalmente sociales que

continúan teniendo importancia y vigencia actualmente tanto en las definiciones como en los objetivos de la Geografía Aplicada.

P. George ha destacado por sus aportaciones a la conceptualización y desarrollo de las bases de la Geografía Aplicada. Este autor señaló que una primera fase de evolución de los estudios geográficos estaba caracterizada por las crónicas de viajes y expediciones y por la elaboración de los primeros mapas, se trataba de “ *justificar misiones cumplidas, de actos de toma de posesión o al menos de adquisición de garantías sobre territorios hasta entonces desconocidos y sobre todo de instrumentos, de guías de circulación para viajes ulteriores*” (George, P., 1980). Esta fase es de gran importancia porque de ella derivan dos líneas de investigación. La primera se encarga del estudio de las relaciones de causalidad. Es básicamente explicativa y está limitada a proponer hipótesis de interpretación a través de la historia, del análisis de datos estadísticos y de la observación. Según este mismo autor en esta etapa no se formulan leyes generales excepto en el campo de la Geografía Física. La segunda línea de investigación es más utilitaria y se encarga de la recopilación de información del mundo real destinada a proporcionar operaciones de finalidad variada (Geografía Comercial, Geopolítica, etc.). El objetivo de la Geografía Activa “*consiste en percibir las tendencias y perspectivas de evolución a corto plazo, medir la intensidad y proyección espacial, las relaciones entre tendencias de desarrollo y sus antagonismos, definir y evaluar la eficacia de los frenos y los obstáculos*” (George, P., 1980)

A finales del siglo XX M. Pacione (1999) ha concebido la Geografía Aplicada como la puesta en práctica de los conocimientos geográficos y la técnica para identificar la naturaleza y causa de los problemas sociales, económicos y

medioambientales, estando destinada a informar de las políticas adecuadas para su solución.

En estas tres definiciones de principios, mediados y finales del siglo XX destaca la utilidad del conocimiento geográfico para la resolución de problemas que afectan al mundo real, variando únicamente el tipo de problemas (comerciales, geopolíticos, sociales, urbanos, medioambientales) en función del momento histórico.

Para concluir, podemos sintetizar la definición de Geografía Aplicada como la utilización de los conocimientos y principios geográficos (teorías, métodos y técnicas) que proporcionan la ayuda necesaria al gobierno, empresas, o particulares, en la toma de decisiones destinadas a la resolución de problemas que afectan a la sociedad actual.

J.W. Frazier (1982, cit. Pacione, M., 1999), avanzando aún más en los objetivos de la Geografía Aplicada, ha señalado que la Geografía Aplicada debía tratar cuestiones normativas, es decir, el camino que deben seguir las cosas. Se trata de una posición osada pero según él necesaria para resolver los problemas del mundo real. En este proceso, el geógrafo combina el mundo de la opinión con la decisión del mundo.

Hemos indicado anteriormente la importancia que tiene en la actualidad la aplicación de los conocimientos geográficos; esto no quiere decir, que la Geografía Aplicada sea algo nuevo todo lo contrario, esta rama o subcampo de la Geografía tiene una larga tradición histórica que vamos a intentar resumir a continuación.

Las primeras investigaciones geográficas se centraron en la descripción de la Tierra contribuyendo con ello a la exploración y conquista de nuevos territorios. Las aplicaciones en la época griega y romana se basaron en la medida y en la cartografía de la Tierra con fines políticos y militares. Las mismas aplicaciones fueron realizadas en China durante el primer milenio a.C. y después en el mundo islámico.

Ya en el transcurso de los siglos XV y XVI, los conocimientos geográficos se aplicaron a la navegación, conquista de nuevos territorios y establecimiento de relaciones comerciales. Estos primeros geógrafos por ello, fueron denominados en términos de aventureros, exploradores, cartógrafos, matemáticos, historiadores, filósofos, etc. Esta fase es sumamente importante en la evolución de la cartografía, no solo por su gran desarrollo, sino porque se sientan las bases de toda la cartografía actual.

Los estudios de Geografía Aplicada siguieron teniendo un marcado carácter comercial y político durante los siglos XVIII y XIX.

La Geografía Aplicada experimentó un gran desarrollo en las primeras décadas del siglo XX, a través de los trabajos de A.J. Herbertson en 1910 y de P. Geddes en 1915, quienes creían que la función del geógrafo era la construcción de mapas de potencial económico de las regiones. A ambos autores se les consideró como padres fundadores del planeamiento urbanístico.

Los estudios de Geografía Aplicada se centraron en la década de los 30, durante el periodo de entreguerras y fundamentalmente en EEUU y Reino Unido, en problemas de áreas en peligro, límites administrativos, problemas de ciudad-región, inventario de recursos, clasificaciones de usos del suelo, utilización de recursos hídricos, planeamiento de desarrollo económico en áreas rurales. Las investigaciones geográficas también se aplicaron en esta época al sector privado

un ejemplo fueron los estudios de climatología para la implantación de industrias y nuevos comercios al por menor, o posteriormente el desarrollo de la Geografía de mercados.

Los trabajos de los geógrafos también fueron esenciales en épocas de guerra, basándose en la interpretación de fotografías aéreas, imágenes de satélite, análisis del terreno, predicciones meteorológicas, planeamiento de rutas militares, etc.

La aplicación de los conocimientos geográficos fue determinante en tiempos de paz y se manifestó en la intervención de los geógrafos para adjudicar fronteras - destacando en este sentido el papel jugado por el geógrafo norteamericano I. Bowman en la Conferencia de Paz de Versalles -, o en la resolución de conflictos territoriales entre estados (Oklahoma y Texas) en EEUU o entre países como Chile y Perú (1925) Bolivia y Paraguay (1929) y Colombia y Venezuela (1933) (Pacione, M., 1999).

Tras la Segunda Guerra Mundial los geógrafos se plantearon conocer y entender el espacio para poder actuar sobre él. En este sentido empiezan a aparecer gran cantidad de obras: L. Dudley Stamp (*Land Utilization Survey*, 1945), M. Philipponneau (*Géographie et action* , 1960) P. George (*La Géographie active*, 1964) J. Labasse (*L'organisation de l'espace* 1973), comisiones encargadas del estudio de la Planificación Regional dentro del marco de la Unión Geográfica Internacional (1947), la creación en España por parte de D. José Manuel Casas Torres del Instituto de Geografía Aplicada (1954) en el ámbito del Consejo Superior de Investigaciones científicas, fundación de laboratorios de estudio que

han establecido contratos con servicios públicos o sociedades privadas, organización de congresos de Geografía Aplicada, etc. (Bosque, J., 1999).

Según M. Pacione (1999) el punto culminante desde el punto de la perspectiva académica fue la creación en 1964 de la Comisión de Geografía Aplicada, en el marco de la Unión Geográfica Internacional. En una reunión de esta comisión celebrada en 1972 se propusieron los siguientes objetivos fundamentales de estudio:

- Problemas relacionados con la gestión de los recursos en países en desarrollo.
- Planeamiento urbanístico
- Predicción de impactos tecnológicos y programas de desarrollo en diferentes países.
- Problemas relativos a la falta de agua y a la polución medioambiental.
- Exploración de nuevos métodos de investigación en todas las ramas de Geografía Aplicada.

Los temas derivados de los usos del suelo se consideraron como los más relevantes en la agenda de la Unión Geográfica Internacional. Este documento fue clave para entender las investigaciones contemporáneas en temas de planeamiento regional, emergencia de especializaciones (modelos matemáticos), problemas de polución medioambiental, degradación de áreas urbanas, etc.

En el último cuarto del siglo XX se produjo un gran cambio en la práctica de la Geografía Aplicada. Los factores que contribuyeron a este cambio fueron: la emergencia de la conciencia de bienestar social y la responsabilidad que en ello tienen los geógrafos y los cambios teóricos y metodológicos surgidos en la

disciplina geográfica y en general en toda la sociedad. A finales de los 60 después de dos décadas de relativa prosperidad económica en Estados Unidos e Inglaterra, comenzaron a aparecer tensiones en la sociedad, que reclaman una

mejora en la calidad de vida y que derivan básicamente de conflictos raciales en las ciudades americanas, de movimientos feministas y de las consecuencias de la guerra de Vietnam. Según M. Pacione (1999) para algunos geógrafos marxistas, estos eran claramente los signos de que el final del siglo XX sería un periodo de continuas crisis sociales.

Estos conflictos sociales se reflejaron claramente en cambios en la Geografía Aplicada. Estos cambios se hicieron patentes en el congreso nº 67 de la Asociación de Geógrafos Americanos celebrado en Boston en 1971. En este congreso se vio que los temas dominantes debían de ser los relacionados con la pobreza, mejora social, étnica y religiosa de los grupos humanos. Los temas sobre usos del suelo, conservación de recursos, polución medioambiental, etc., continuaron teniendo importancia pero pasaron a primer plano los relacionados con la pobreza, el hambre, las desigualdades, en una palabra: temas de gran relevancia desde el punto de vista social.

Según M. Pacione (1999) los estudios de Geografía Aplicada en los últimos años se han centrado en:

- Causas y mejoras de los efectos de las catástrofes naturales, terremotos, inundaciones, desprendimientos de tierras, etc.
- Causas, consecuencias del cambio medioambiental, lluvia ácida, agujero de ozono, contaminación, etc.
- Deforestación, desertización y problemas relacionados con la escasez de agua.

- Temas de usos de suelo, agricultura abandonada, tierras húmedas, suelo vacante y conservación del paisaje de la ciudad.
- Problemas sociales, económicos y medioambientales que afectan a la población urbana y rural tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo.
- Falta de vivienda, pobreza, criminalidad, transporte, salud, segregación social y espacial.
- Aplicación de técnicas en análisis geográfico relacionadas particularmente con el desarrollo de la informática, cartografía digital, procesos de simulación y modelización tanto en medio físico como en el humano.

D. José Manuel Casas Torres en el prólogo del libro de J. Labasse (1973) realizaba una reflexión acerca de la crisis de la Geografía frente a otras ciencias. Este autor señalaba que *“era mucho lo que nos quedaba por hacer y aportar a la ordenación espacial. Junto a los temas clásicos y no agotados de las tesis regionales monográficas, están todos los no acometidos estudios integrados en los que los geógrafos son pieza clave de los equipos: utilización del suelo, catálogos de recursos, defensa del medio ambiente, Geografía urbana y rural y sobre todo regionalización y ordenación del espacio. Para ello disponemos de más medios que nunca, bancos de datos, computadoras, fotografía aérea, sensores remotos de varias clases...”* Esta afirmación nos lleva a plantearnos dos cuestiones totalmente contrapuestas (algo que también exponía P. George en su libro *Geografía Activa* en el año 1967). La primera está relacionada con el amplio abanico de nuevas posibilidades de investigación y oportunidades de trabajo que se abren para los geógrafos en estos campos. La segunda cuestión, totalmente relacionada con la anterior, nos conduce ante el problema de plantearnos hasta qué punto los geógrafos estamos haciendo Geografía, o nos estamos convirtiendo únicamente en técnicos especialistas encaminados a

competir con otros profesionales (ingenieros, geólogos, demógrafos, economistas, etc.) perdiendo la capacidad de realizar síntesis geográficas.

Respecto a la primera cuestión, nos sorprenden enormemente los planteamientos de Casas Torres en 1973. Este autor hacía alusión a la apertura de posibilidades y oportunidades para los geógrafos. Sin embargo, creemos que los resultados conseguidos tras casi 30 años no han sido los esperados. Actualmente no existe un gran número de geógrafos trabajando fuera del ámbito de la investigación que apliquen los conocimientos geográficos y sólo desde hace cinco o seis años, en España, empiezan a realizarse tesis doctorales en este sentido. M. Pacione (1999) pone de manifiesto, que a pesar de la gran cantidad de campos en los que los geógrafos trabajan y pueden trabajar, ha habido un fracaso de los geógrafos en la influencia pública. Primero porque han tenido que competir con otros profesionales denominados “expertos” que trabajan en temas similares y segundo por el rechazo de los geógrafos humanos a “ensuciarse las manos”.

Con respecto a la segunda cuestión planteada pensamos que se ha producido una excesiva especialización y fragmentación dentro de la Geografía. Entre muchos geógrafos, y sobre todo futuros geógrafos, se plantea la necesidad (podríamos decir incluso inquietud) de adquirir únicamente formación técnica, que les lleve a competir con otros profesionales, perdiendo por tanto la visión global. Este problema puede ser consecuencia directa de la crisis de identidad que atraviesa la Geografía, la cual ocasiona un absoluto desconcierto en cuanto al método, al objeto de estudio y a las aplicaciones. Contribuye a ello la instauración en Geografía a partir de los años 50 de las llamadas “Nuevas tendencias” (Geografía Cuantitativa, Geografía de la Percepción, Geografía Humanística, Geografía Radical...). Este riesgo de excesiva especialización se evitaría si la Geografía tuviera una definición clara de su contenido, método y aplicaciones y consiguiera delimitar su campo con respecto a las demás ciencias. La Geografía debe aportar enseñanzas globales, estudiar relaciones espaciales y el geógrafo por tanto debe

actuar como coordinador o intermediario entre técnicos especializados y las personas encargadas de la toma de decisiones (políticas mayoritariamente).

M. Pacione (1999) refiriéndose concretamente a la especialización producida dentro de la propia Geografía, pone de manifiesto que la Geografía Aplicada debido a las investigaciones que realiza, va más allá de los límites tradicionales entre Geografía Física y Geografía Humana. La Geografía Aplicada no debe ser considerada como un subárea de la Geografía, sino que es una aproximación que cruza y corta los límites artificiales de las disciplinas tratando problemas que afectan tanto a la Geografía Física como a la Geografía Humana. Este autor al igual que otros muchos -entre ellos D. Stoddart (1982)- piensa que se está llegando a una situación en la cual los geógrafos físicos no entienden determinados aspectos humanos y viceversa. La Geografía Aplicada, sin ser la *piedra roseta*, puede contribuir a unir los esfuerzos y conocimientos de los geógrafos (físicos y humanos) encaminados a proporcionar un conocimiento útil y provechoso que resuelva los problemas del mundo actual.

Llegados a este punto, conviene hacer una reflexión acerca de cuál es la enseñanza geográfica necesaria para enfrentarnos a los problemas actuales y qué necesitamos los geógrafos para contribuir a su resolución (No hay que olvidar que la mayor parte de los problemas son globales y que afectan a la mayoría de la sociedad). Desde nuestro punto de vista, la enseñanza geográfica necesaria debe ser una enseñanza global y sintética y por supuesto aplicada y debe realizarse desde el marco de una Nueva Geografía Regional.

Por último debe mencionarse la forma de abordar los estudios de Geografía Aplicada, es decir, la metodología. J. Habermas (1974, cit. Pacione, M., 1999) diferenciaba tres tipos de ciencias, cada una con unos objetivos que son

importantes tanto en la teoría como en la práctica de la Geografía. Estas ciencias son:

1. Empírico – analíticas.- Su objetivo es la predicción y utiliza para ello el método científico positivista. Predicción y control de temas medioambientales en Geografía Física y utilización de modelos macroeconómicos en Geografía Humana.
2. Histórico- hermeneuticas.- Su objetivo es la interpretación del significado del mundo a partir de las acciones que produce la experiencia del mundo.
3. Realistas – emancipatorias.- Su objetivo es descubrir las explicaciones reales que gobiernan la sociedad y alentar a la población para que tenga una formación social superior.

La metodología que debe seguir la Geografía Aplicada según M. Pacione (1999) es: *“descripción, explicación, evaluación, y predicción, seguido de la implementación y seguimiento”*.

1. Descripción.- Identificación de problemas y sus consecuencias. Se realiza mediante técnicas de colección de datos. Algunas de estas técnicas son: estudios, cuestionarios, imágenes de satélite, estadísticas, etc.
2. Explicación.- Análisis destinado a entender una situación existente actualmente o que pueda darse en un futuro. Se realiza mediante técnicas analíticas como por ejemplo: clasificar datos, descubrir relaciones (análisis factorial, análisis de regresión), predicciones (modelización, juegos de simulación)
3. Evaluación.- Entendida como el desarrollo de programas de actuación o como el asesoramiento de los beneficios de las alternativas. Se realiza a través de técnicas comparativas destinadas a examinar el grado de complementariedad de los objetivos (matriz de compatibilidad, análisis de potenciales

utilizaciones) o al asesoramiento de los beneficios (análisis de costes-beneficios, análisis de impactos).

4. Predicción.- Presentación de las políticas recomendadas y los programas de actuación. Se realiza a través de técnicas de comunicación, presentando las recomendaciones a grupos de expertos mediante la utilización de tablas, gráficos o técnicas cartográficas.
5. Implementación.- Organización y coordinación para poner en marcha los programas y políticas. Se realiza a través de técnicas logísticas. (controles de desarrollo, designación de áreas de acción especial, información pública, aportación de experiencias a comunidades locales)
6. Seguimiento.- Control de las acciones evaluando tanto los aciertos como los posibles fallos. Se realiza a través de técnicas de manejo de la información que permitan tener bancos de datos actualizados como por ejemplo los Sistemas de Información Geográfica.

Las técnicas existentes, destinadas a la aplicación de los conocimientos geográficos, son múltiples; técnicas tradicionales como lectura de planos o realización de mapas temáticos y técnicas de incorporación más actual entre las que podríamos citar los análisis estadísticos complejos, la fotografía aérea, los Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección.

El auge de la informática ha permitido tanto el desarrollo de estas técnicas como la simplificación de determinados fenómenos espaciales (una simulación en una forma abstracta de lo que sucede en la realidad). Los fenómenos de desarrollo urbano son tan complejos y reacios a las abstracciones en términos simples de cualquier clase, que las soluciones de ordenador les brindan una simplicidad

atractiva en comparación con las dificultades de modelos mecánicos (analógicos) o de las soluciones analíticas (Harris, B., 1975).

Existe una creciente preocupación por incorporar nuevas técnicas (métodos e instrumentos) de análisis que otorguen mayor precisión a las descripciones geográficas posibilitando incluso nuevas formas de investigar la realidad espacial. En este marco se incluye la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica como se pone de manifiesto en la introducción al libro *Trabajos Prácticos de Geografía Humana* (VV.AA, 1988).

Actualmente el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica permite el análisis simultáneo de diferentes tipos de variables (capas) de información, básicas para el estudio del territorio (variables físicas, demográficas, económicas, etc.). alguna de estas variables puede obtenerse tomando como base las imágenes de satélite (Teledetección).

La utilización de imágenes de satélite ofrece entre otras las siguientes ventajas:

- Disponer de información periódica sobre el territorio que permita obtener cartografías actualizadas. Esta actualización es sumamente importante en el espacio urbano el cual sufre un proceso de cambio constante.
- Cubrir amplias superficies del espacio con una sola imagen.
- Disminuir costes y tiempo.
- Integrar la información en un Sistema de Información Geográfica para conseguir una fácil y rápida gestión del territorio.

Si bien estas ventajas no son discutibles, hace falta señalar que para la utilización de imágenes de satélite es necesario disponer de:

- Imágenes de satélite. Obvio pero no siempre fácil tarea, si queremos imágenes de fechas concretas y sobre todo de determinados espacios.

- Equipo necesario para procesar las imágenes (hardware y software).
- Inversión económica. El coste tanto de las imágenes como del equipo necesario es elevado. A pesar de la gran utilidad de estas técnicas, la inversión económica necesaria puede no resultar rentable.
- En gran parte de los casos también es necesaria información digital complementaria

Las alternativas a la utilización de imágenes de satélite son la fotografía aérea y el trabajo de campo pero ya hemos comentado anteriormente alguna de las ventajas que conlleva la utilización de imágenes de satélite. Esto no quiere decir que para análisis más detallados o para la comprobación de determinados aspectos no deba utilizarse la fotografía aérea o el trabajo de campo si bien es cierto que cada vez hay que recurrir en un menor número de ocasiones por las características de las imágenes de satélite actuales.

Las ventajas y el gran número de aplicaciones que presenta el uso de estas técnicas, no se cuestionan pero hay que pensar que son herramientas controladas por el hombre, el geógrafo en nuestro caso. El ordenador facilita las aplicaciones pero si no conocemos la teoría es imposible realizar aplicaciones. De ahí la importancia de un buen conocimiento teórico que permita elaborar aplicaciones lógicas y coherentes.

T.Unwin (1995) pone de manifiesto *“que todas las investigaciones reflejan una interacción entre el observador y el observado y entre la teoría y la práctica;”* y son reflejo del contexto social, económico y político dentro del cual se practican. Según este autor, la investigación no puede ser políticamente neutral, sobre todo en la época actual en la cual hay grandes restricciones económicas. Por ello a la hora de llevar a la práctica una investigación, existe una gran presión que conduce a solicitar ayudas o contratos en campos subvencionados por

organismos estatales o por la industria. En este contexto dice que *“la explosión comercial del interés por los sistemas de información geográfica no está alentada tanto por intereses académicos como por las necesidades del comercio y de la administración. El conocimiento que aportan estos sistemas es de gran utilidad, al dotar a los que poseen de un poder considerable.”*

1.2. LA MODELIZACIÓN EN GEOGRAFÍA

Una de las características del espacio geográfico es su organización; que el espacio geográfico está organizado es un hecho innegable que nadie pone en duda. Por el contrario, los conceptos, las definiciones, las teorías y los métodos de investigación de este espacio son bastante discutibles y a pesar de su larga tradición histórica, continúan siendo objeto de investigación en la actualidad (Brunet, R., 1980).

Antes de continuar con esta reflexión, nos parece conveniente aclarar la diferenciación entre organizaciones espaciales y región. Una organización espacial es un conjunto coherente de lugares relacionados; conjunto diferenciado, que está integrado en áreas y redes (líneas y puntos) entre los cuales circulan flujos. La organización espacial es únicamente un componente de la región (Brunet, R., 1980).

No es tarea fácil entender el funcionamiento y la estructura de las organizaciones espaciales y por ende el de las regiones, debido a la gran complejidad que presenta el mundo real. Por el contrario, sí podemos comprender los mecanismos más elementales que conforman la realidad y jugar con sus combinaciones para ver qué puede ocurrir en el futuro (pronosticar, predecir, planificar).

Es evidente que cualquier espacio, individuo o elemento que integra un espacio, es único e irrepetible, con características propias, que no van a encontrarse exactamente igual en ningún otro lugar ni en otra época. Pero si nosotros como geógrafos lo que queremos es entender el funcionamiento global de un espacio, ¿nos interesan esas individualidades? o por el contrario ¿centramos nuestro interés en conocer las características del conjunto, simplificando para ello la realidad y representando las propiedades más relevantes?

Algunos investigadores actuales consideran más eficaz, útil y productivo el estudio de los fenómenos que afectan al mundo real, destacando las características del conjunto y no las individualidades (diferencias específicas) (Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971). Para lograr este propósito debemos tener muy en cuenta la escala y los objetivos del trabajo. Estos dos factores determinan qué elementos de la realidad deben seleccionarse o eliminarse, es decir, especifican qué se considera como detalle específico y qué como característica de conjunto.

“ Al tratar de encontrar un sentido a la estructura de una región determinada, los geógrafos tratan a menudo de imitar la realidad, sustituyendo por formas similares, pero más sencillas, aquellas que están estudiando. Esto lo realizan mediante la construcción de modelos” (Haggett, P., 1988).

La utilización de modelos en Geografía no es algo nuevo, no es una nueva forma de investigar los fenómenos del mundo real tal y como señalan R.J.Chorley y P.Haggett (1971). Por el contrario pensamos al igual que otros autores (Sotelo, J.A., 1999) que el hombre ha venido utilizando modelos en el transcurso de la historia y podemos afirmar que el modelo es una de las herramientas más antiguas de la humanidad. Una imagen mental, los primeros mapas o una simple fotografía ya suponen una forma de modelo.

La mayor parte de los autores coinciden en definir un modelo como una simplificación voluntaria y objetiva de la realidad, cuya utilidad es demostrar algunas de sus propiedades, aunque no transmitan toda la verdad. Es imposible recopilar en este trabajo todas las definiciones de modelo aportadas por los diferentes investigadores que han trabajado en este tema. Por lo tanto nosotros vamos a tratar de resumir únicamente aquéllas que nos parecen más significativas o las que suponen una nueva aportación al concepto de modelo.

Para R.J.Chorley y P.Haggett (1971) un modelo es *“una estructuración simplificada de la realidad que, se supone, presenta en forma generalizada, facetas y relaciones significativas de aquella.”* Esta definición incide en la idea de subjetividad implícita en todos los modelos, debido a que en su construcción no se incluyen ni todas las observaciones, ni todos los elementos, ni todas las dimensiones asociadas a ello. Para estos dos autores su valor reside precisamente en su capacidad para eliminar lo superfluo, el detalle.

P. Haggett (1976) posteriormente, ha incidido en la idea de que un modelo no debe representar todas las características de la sociedad, resaltando también la importancia que tiene la estructuración en la construcción de modelos. Este autor define un modelo como *“representación idealizada del mundo real, construida ordenadamente para demostrar algunas de sus propiedades”*.

M. Santos (1993, cit. Portugal, J.A., 1996) más recientemente introduce en la definición de modelo la noción de aplicación, indicando el carácter eminentemente práctico y útil de los modelos. Para este autor un modelo constituye *“una representación de la realidad, cuya aplicación o uso sólo se explican con el objetivo de un mayor conocimiento de dicha realidad, o lo que es lo mismo, en cuanto a hipótesis de trabajo sujeta a verificaciones”*.

La consideración de los modelos como instrumento pedagógico también ha sido incorporada en las definiciones aportadas por algunos autores. Se subraya la idea de que un modelo además de traducir la organización de un espacio y suponer una representación del territorio (debido a sus cualidades) va más allá de ser un instrumento de investigación y se convierte en un instrumento de trabajo y enseñanza de realidades territoriales en el aprendizaje de los niños (Ferrás, R., 1993, cit. Portugal, J.A., 1996).

La definición de modelo aportada por M. Pavolini (1997) incorpora el factor tiempo, la inmediatez. Con la introducción del adjetivo “inmediato” se enfatiza la cualidad que tienen los modelos para hacer entender la realidad de la forma más rápida. *“Un modelo geográfico es una simplificación de la realidad territorial, expresada de forma esquemática, que permite tener una percepción generalizada e inmediata de los fenómenos geográficos”*.

Un modelo es una representación esquemática de la realidad, elaborado con vistas a una demostración. Como representación esquemática, el modelo es una simplificación que ayuda a comprender la organización de una realidad espacial. Implica elecciones para aprender esa realidad y supone un paso hacia la abstracción. Como representación elaborada, el modelo es una construcción intelectual que sale de la realidad y permite volver a ella aunque no es la realidad ni pretende coincidir con ella. Es una interpretación de la realidad percibida y recurre a un conocimiento conceptual que privilegia el razonamiento hipotético deductivo (Durand-Dastes, F., 1994, cit Molines, G., y Cuadrado, V., 1997).

Para terminar quisieramos mencionar la definición de modelo de H. Skillong (1964, cit Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971) porque engloba todas las anteriores. *“Un modelo puede ser una teoría, una ley o una hipótesis o una idea estructurada, una función, una relación, una ecuación o una síntesis de datos, lo más importante es que su aplicación pueda extenderse al razonamiento sobre el mundo real.”* La realidad espacial es demasiado compleja y por ello es imposible llegar a comprender los factores, elementos, situaciones, hechos y relaciones que la integran. Por el contrario, es posible entender los mecanismos globales que conforman esta realidad y por tanto debemos simplificarla eliminando las individualidades y los detalles, ateniéndonos siempre a la escala y a los objetivos del estudio. Otros científicos recurren a la expresión lógico-matemática para lograr este entendimiento. Muchos geógrafos no dominamos esta técnica y por ello utilizamos modelos que simplifican la realidad con el objeto no sólo de

entenderla, sino de poder actuar sobre ella pronosticando o prediciendo posibles actuaciones.

Todo modelo debe cumplir unas características mínimas para constituir realmente una representación reducida e idealizada de la realidad. La palabra modelo es un concepto muy habitual y se utiliza de forma muy distinta. El concepto de modelo entendido como sustantivo, implica representación; como adjetivo, grado de perfección y como verbo se emplea para demostrar o explicar cómo es algo. Pues bien, los modelos tienen todas estas propiedades (Ackoff R. L., et al 1962, cit. Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971).

Las características que deben tener los modelos han sido muy bien sintetizadas por R.J.Chorley y P.Haggett (1971) en los siguientes puntos:

- La selección es una de las características más importantes de los modelos; en su construcción debe hacerse un gran esfuerzo de selección de la información, es decir, debe eliminarse el detalle, el ruido, los elementos menos representativos para llegar al fondo de las cosas.
- Los modelos están estructurados y esto significa que los aspectos significativos seleccionados de la compleja realidad espacial se analizan a través de sus interconexiones e interdependencias.
- Tienen una naturaleza sugestiva. Un buen modelo debe servir para proponer sugerencias adecuadas para su ampliación o generalización y para realizar predicciones sobre el mundo real.
- Los modelos constituyen aproximaciones de la realidad. Son esquemas sencillos, pero al mismo tiempo representativos de las situaciones que esta realidad ofrece que permiten manejar y comprender la realidad expresando con exactitud el sistema objeto de estudio.
- Los modelos son analogías porque difieren del mundo real.

- Los modelos deben poder aplicarse a diferentes situaciones del mundo real. En muchos casos el valor del modelo depende precisamente de esta capacidad para volver a ser utilizado o aplicado.

Hemos señalado anteriormente que un modelo es una simplificación de la realidad. Esta simplificación se realiza con un fin operativo que puede ser la acción, la explicación o la predicción. *"Los modelos son necesarios para salvar las diferencias entre el nivel de observación y la teoría; y les corresponde la simplificación, reducción, concreción, experimentación, acción, extensión, globalización y explicación de teorías"* (Apostel. L., 1961, cit Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971).

R.J.Chorley y P.Haggett (1971) ponen de relieve las diferentes funciones que pueden desempeñar los modelos en la investigación científica. Estos autores sugieren que un modelo debe cumplir las siguientes funciones:

- Psicológica: Los modelos permiten interpretar y englobar fenómenos que por su complejidad serían imposible de comprender.
- Adquisitiva: Los modelos proporcionan una base sobre la que definir, recoger y ordenar la información. Esto implica una doble función: por un lado organizativa (ordenan la información) y por otro lo que estos autores denominan de fertilidad (permiten extraer la máxima información).
- Lógica: Facilitan la explicación de la aparición de un fenómeno particular.
- Normativa: Los modelos establecen comparaciones entre determinados fenómenos con otro más conocido.
- Sistemática: La realidad se advierte a través de sistemas entrelazados.
- Constructiva: Los modelos constituyen la base para elaborar teorías y leyes.
- Cognoscitiva: Los modelos son inspiradores de la comunicación de las ideas científicas.

G. Molines y V. Cuadrado (1997) recientemente, han realizado un análisis acerca de las funciones que deben cumplir los modelos. En su mayor parte estas funciones coinciden con las ya especificadas por R.J.Chorley y P.Haggett (1971), variando casi exclusivamente la terminología empleada. G. Molines y V. Cuadrado señalan que en cuanto a su fin el modelo se orienta hacia una demostración, lo que le atribuye una doble función: en primer lugar heurística es decir, un modelo permite experimentar y valorar hipótesis de trabajo y por tanto sacar tendencias, regularidades e incluso leyes (coincide con la finalidad constructiva de R.J.Chorley y P.Haggett); en segundo lugar todo modelo tiene una función didáctica porque permite expresar gráficamente el resultado de la investigación de procesos (función cognoscitiva de R.J.Chorley y P.Haggett). Otra finalidad que según estos autores debe cumplir un modelo es explicar y mostrar las estructuras del espacio. El modelo construye, destruye, y reconstruye un cierto número de combinaciones simples (función lógica de R.J.Chorley y P.Haggett). Por último estos autores señalan que un modelo permite pasar de una realidad aparentemente desorganizada a una realidad interpretada, convirtiéndose por excelencia en un instrumento geográfico que integra el espacio en su construcción (funciones adquisitiva y organizativa de R.J.Chorley y P.Haggett).

Un modelo debe servirnos para comprender, sistematizar, explicar y comparar la complejidad e interrelación de fenómenos que afectan al mundo real, constituyendo tanto la base para el establecimiento de teorías, principios y regularidades como la herramienta de información y comunicación de conocimientos científicos.

Los modelos se han hecho para desempeñar todas las funciones anteriormente mencionadas e incluso para más. Por ello es sumamente difícil establecer formalmente su función en la investigación científica. Primero es necesario no despreciar la innegable diversidad de modelos científicos que existen y segundo,

hay que tener muy en cuenta que un único modelo no es siempre apropiado para cumplir las diferentes funciones (Harvey, D., 1983).

Hemos indicado anteriormente que un modelo puede tener varias funciones y definiciones y por ello también puede cumplir con su función de muy diversas maneras. Dependiendo de las funciones del modelo se obtendrá un tipo u otro y en consecuencia establecer una clasificación de modelos se convierte en una labor bastante complicada.

Una de las primeras clasificaciones de modelos fue la realizada por R. L. Ackoff et al (1962, cit. Harvey, D., 1983) quien teniendo en cuenta el material con el que se construían los modelos, diferenciaba los siguientes tipos:

- Modelos icónicos. Utilizan los mismos datos, pero simplifican la escala.
- Modelos analógicos. Suponen un cambio en el material utilizado para construir el modelo.
- Modelos simbólicos. Representan la realidad mediante un sistema simbólico, como puede ser un sistema de ecuaciones matemáticas.

R.J. Chorley (1964, cit Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971) diferenciaba dos grandes tipos de modelos con subtipos:

1. Modelos descriptivos. Se corresponden con descripciones estilísticas de la realidad y pueden diferenciarse en:
 - Estáticos. Se ocupan de aspectos de equilibrio estructural. Son los predominantes.
 - Dinámicos. Se concentran en el desarrollo temporal de procesos y funciones. Llegan a ser históricos si predomina el elemento temporal.
 - De datos, de clasificación o taxonómicos o de diseño experimental. Les interesa la organización empírica de los datos.

2. Modelos Normativos. Se preocupan por lo que pueda pasar si se presentan determinadas condiciones. Pueden implicar frecuentemente el que se utilice una situación más familiar como modelo de otra que es menos familiar tanto en sentido temporal (históricos) o espacial y con un matiz claramente predictivo.

Esta clasificación considera todos los modelos como análogos y es similar a la realizada por R.L. Ackoff (1962). Los modelos que traducen circunstancias naturales análogas son similares a los modelos análogos de R.L Ackoff; los modelos matemáticos son los simbólicos de R.L Ackoff y por último están los modelos que incluyen procesos experimentales, es decir los que pueden conllevar cambio de escala o una proyección a circunstancias naturales análogas (Harvey, D., 1983).

R.J.Chorley y P.Haggett (1971) posteriormente, llevaron a cabo una nueva clasificación de los modelos teniendo en cuenta como en casos anteriores el material con el cual se realizan. Desde nuestro punto de vista es simplemente la unión de las dos clasificaciones mencionadas anteriormente. El resultado es el siguiente:

1. Modelos Instrumentales, físicos o experimentales:
 - Icónicos. Cuando las propiedades del mundo real se reproducen tan sólo con un cambio de escala.
 - Analógicos o de simulación. Representan el mundo real pero con distintas propiedades.
2. Modelos teóricos, simbólicos y conceptuales o mentales.
 - Se relacionan con definiciones simbólicas o formales de naturaleza verbal o matemáticas en términos lógicos. Los modelos matemáticos pueden

clasificarse en deterministas y estocásticos atendiendo al grado de probabilidad que se pueda asociar a sus predicciones.

Estos autores señalan otro tipo de modelos, los sistemas, definidos en función del interés que ponga el que los construye en las variables input/output como algo distinto a las variables de estatus interno. Por último, teniendo en cuenta la escala en que se valoran y el punto de vista desde el que se construyan, diferencian entre modelos internalizados, aquellos que dan una visión muy local o de grupo de la realidad y paradigmas, que son modelos con significado amplio y válido entre un sector también amplio de la comunidad científica (Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971).

M. Pavolini (1997) recientemente ha realizado otra clasificación de modelos agrupándolos en cuatro 4 tipos:

1. Modelos matemáticos: Constituyen expresiones en términos cuantitativos de los fenómenos territoriales. Se utilizan en el campo físico y económico. Son básicos en la aplicación estadística de términos generalmente avanzados (agrupamiento, matrices de correlación, rectas de regresión, etc.). Ejemplos representativos son: el modelo de gravedad en relación con la distancia, el cono de demanda de Lösch o la densidad de la red hidrográfica según Strahler.
2. Modelos económico-normativos. Son deterministas y funcionales. Ejemplos de ellos son los modelos de Von Thünen, Weber, lugares centrales de Christaller.
3. Modelos sistémicos. Expresan relaciones entre diversos fenómenos territoriales (en la explicación lo deriva hacia el sistema literario).
4. Modelos gráficos. Figuras que muestran varios fenómenos territoriales para proporcionar una realidad inmediata ejemplo de ello son los modelos de centro-periferia (Reynaud), pirámides de población, grafos para transportes,

procesos de difusión, modelos urbanos (Burgess, Griffin y Ford) y modelos turísticos (Miosesec).

La finalidad de un modelo puede ser la acción, la predicción o la explicación. Según F. Durand-Dastes (1994, cit. Molines, G., y Cuadrado, V., 1997) teniendo en cuenta estos objetivos los modelos se clasificarían en:

- Modelo duro: de construcción matemática. Teórico y abstracto. Su objeto fundamental es la simulación.
- Modelo genérico-explicativo: modelo duro utilizado simplemente.
- Modelo explicativo-ilustrativo: mucho más cualitativo, se reduce a menudo a un esquema explicativo o a la expresión gráfica de una serie estadística. Es mucho más pedagógico.

R. Brunet (1980) diferencia modelos de organizaciones espaciales en función de la escala, estableciendo cuatro tipos que según este autor están muy desigualmente practicados.

1. Modelos generales. Tienen vocación teórica general. En principio pueden aplicarse al mundo entero y constituir el punto de partida de toda investigación de tipo deductiva pero pronto se advierte que proceden en su mayoría de considerar la distancia y análogamente la gravedad: expresan de hecho, las formas posibles de aplicación del modelo de gravedad sobre superficies más o menos isotrópica como los de Chistaller, Von Thünen, Lösch o en los que se basan los tratados de Chorley y Haggett.
2. Modelos regionales. Son aquellos que tienen un alcance restringido en espacio y tiempo incluso si representan a un número relativamente elevado de casos. Se trata de imágenes simplificadas de un tipo de organización siendo la palabra tipo en este caso tan importante como la de particular. No se trata de mecanismos o de leyes con virtud real teórica sino de tipos de estructuras

espaciales realizadas un ejemplo es el modelo de Burgess. Este modelo describe el tipo de organización aureolar del espacio intraurbano de las ciudades norteamericana, que está perfectamente fechado y localizado. Se puede producir un modelo del mismo tipo en la mayor parte de las ciudades francesas y es diferente porque la historia de esas ciudades es diferente. Lo mismo ocurre con el modelo de ciudad islámica. Modelos generales y regionales pueden ser confrontados a la realidad, es decir, a cada objeto particular y a cada organización espacial. En esto radica en parte su principal interés puesto que así se puede considerar la distancia entre el objeto considerado y el modelo y por tanto evaluar los “residuos.”

3. Modelos específicos. Es el modelo que se corresponde con una organización y sólo con una. Es decir, la representación de una estructura (o de una forma) particular y única: el espacio de determinada ciudad, de determinada región, de determinado país, etc. Modelo de un objeto, y de uno solo, no es transportable, no es transponible lo que no le quita valor heurístico, siempre que merezca el nombre de modelo y respete las reglas de modelización que suponen un importante trabajo de abstracción y de interpretación inductivo-deductiva. La función de este modelo será totalmente diferente a la de los anteriores: no se trata de comparar un objeto a un modelo de referencia, lo que hace posible (a través de él) la comparación de un objeto con otro; se trata de comprender la estructura del objeto. Si está convenientemente modelizado es que se puede desmontar y remontarlo; descomponerlo, ¿en qué? en modelos elementales.
4. Modelo espacial elemental. Representaciones de una de esas estructuras básicas de la organización espacial de las sociedades cuya combinación, o mejor dicho, cuya composición (en absoluto aleatoria) expresa la infinita diversidad de las situaciones reales. Los coremas son ejemplo de ello.

La multiplicidad de funciones de los modelos tiene como consecuencia directa la aparición de una gran variedad de tipos de modelos. Creemos que muchos de los modelos planteados anteriormente no son ni mucho menos excluyentes unos de otros; por el contrario, algunos pueden llegar a complementarse y otros tienen propiedades y características diferentes para representar las situaciones tan distintas que se dan en realidad.

Pensamos que las tipologías analizadas anteriormente pueden simplificarse en dos grupos que pueden ser complementarios (en ningún caso excluyentes): un grupo que tipifica los modelos en función de la escala (R. Brunet, 1980) y otro grupo que clasifica los modelos teniendo en cuenta su funcionalidad y forma de construcción (resto de las tipologías estudiadas).

La clasificación realizada por R. Brunet (1980) nos parece muy correcta. Una característica determinante de los modelos es la selección de elementos o variables que entran a formar parte del modelo y este proceso se realiza teniendo en cuenta la escala. Sin embargo, el factor escalar no es tenido en cuenta por casi ningún autor al realizar taxonomías de modelos.

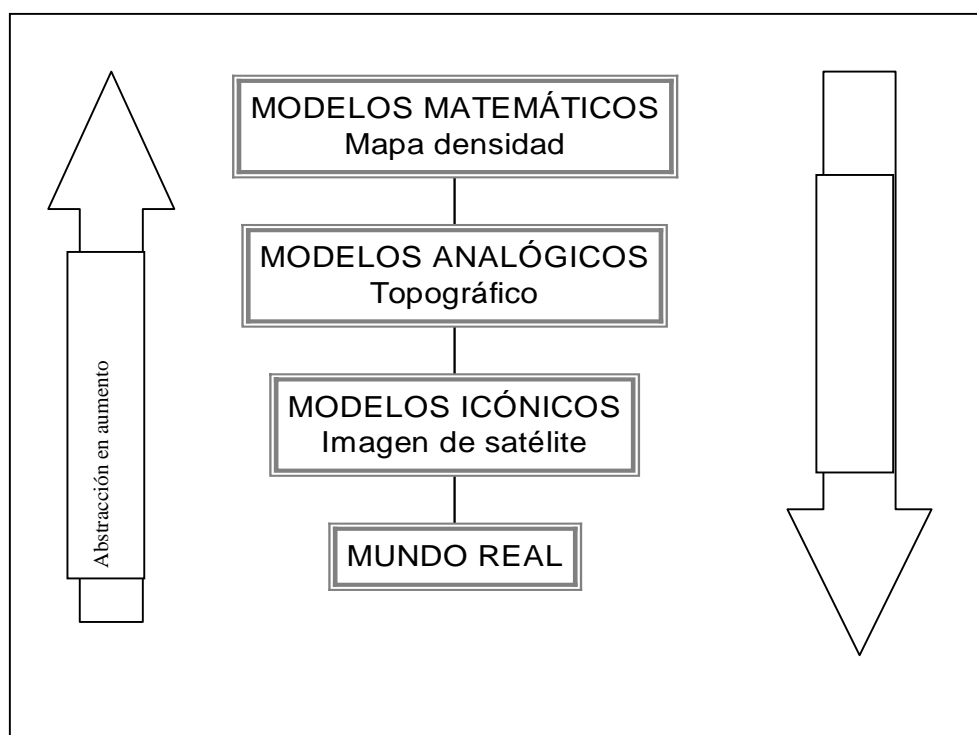
El segundo grupo de tipologías están basadas en la funcionalidad. Aun a riesgo de excesiva simplificación podríamos decir que la mayoría de los modelos se engloban en dos grandes grupos:

1. Semánticos, descriptivos o unipersonales.
2. Matemáticos. Dentro de éstos se sitúan los modelos cartográficos, debido a que la cartografía es una técnica de modelización usual en Geografía y una simplificación de la realidad con un grado de abstracción muy variable (Córdoba, J., 1999).

La construcción de un modelo es un proceso dividido en tres etapas, representando cada etapa un nivel de abstracción superior al anterior. En cada

etapa se pierde información y el modelo se va haciendo menos realista y más general tal y como aparece en la figura nº 1.

Figura Nº 1: Construcción de modelos



La modelización requiere dos operaciones esenciales: la primera supone el análisis de la realidad percibida o concebida en un sistema, es decir, una operación de abstracción y la segunda es la transcodificación de ese sistema en un modelo gráfico (Molines, G., y Cuadrado, V., 1997).

Las críticas o los problemas que surgen como consecuencia de la utilización de modelos en Geografía son numerosas y provienen incluso de los propios geógrafos defensores y creadores de modelos.

Uno de los principales problemas planteados estriba en la propia definición de modelo como “simplificación o generalización de la realidad”. Esta característica

obliga a seleccionar de la realidad aquellos aspectos o variables que resulten más representativos. Esta simplificación o generalización puede llevar a olvidos intolerables o a despreciar asuntos particulares que pueden resultar importantes (Chorley, R.J., y Haggett , P., 1971). El grado de certeza o de probabilidad por tanto es variable y las condiciones de aplicación son en algunas ocasiones restringidas. No olvidemos que los modelos de mejor resultado deberían ser los que tienen un alto grado de probabilidad y un margen muy amplio de aplicación.

Desde nuestro punto de vista, el mayor problema que se plantea en la construcción y utilización de modelos en Geografía es: *“superar el estadio descriptivo para entrar en la significación estructurante”* (Molines, G., y Cuadrado, V., 1997).

Creemos que un modelo no es tal, si se limita únicamente a describir la realidad concreta de un espacio en un periodo de tiempo determinado (existen algunos modelos que se limitan únicamente a la descripción y por ello no son menos importantes). Es cierto que este tipo de “modelos” descriptivos nos ayudan a entender, comprender y explicar un espacio pero su función queda muy limitada.

Para nosotros un buen modelo sería aquel que una vez aplicado a diferentes espacios con características similares (espacios agrarios, industriales, urbanos, etc.) nos hiciera establecer una serie de conclusiones válidas para la mayoría de espacios con las mismas características y además nos ayudara a establecer predicciones.

Otro problema que debemos mencionar está relacionado con las dificultades metodológicas que el concepto de modelo plantea. Este tema fue ampliamente tratado por D. Harvey (1983). Según él *“existe una gran cantidad de tipos de modelo que están desempeñando múltiples funciones, asociadas a múltiples definiciones. Cada modelo tiene una cualidad lógica diferente para desempeñar*

la función que se le exige". Este autor, al analizar la relación existente entre teorías y modelos, llegó a la conclusión de que el objetivo último de la elaboración de teorías es descubrir "*el orden en el caos aparente*" y, en consecuencia, hacer posible la aplicación de la información derivada de algunos casos individuales a otros casos individuales.

En la elaboración de una teoría se empieza por utilizar un modelo a priori. Una vez realizado debemos poder decir que existe algún tipo de orden pero es necesario "*poder demostrar la legitimidad de proyectar las propiedades físicas del objeto del modelo y la forma lógica del modelo en las propiedades y forma de alguna teoría*" (Harvey, D., 1983).

La aplicación de modelos a priori, implica ampliar, reestructurar o crear nuevas teorías, lo cual no quiere decir que el modelo tenga algunas características o aspectos que no aparecen reflejados en la teoría inicial. Esto supondrá añadir (ampliar una teoría), substituir (reestructurar una teoría) o inventar (crear una teoría) conceptos del modelo. Por otro lado, representar simplemente una teoría permite el uso de modelos a posteriori que puedan controlarse del todo si existe una teoría general apropiada (Harvey, D., 1983).

La teoría está muy poco desarrollada en Geografía y por tanto el uso de modelos implica el análisis a priori. La utilización de modelos a priori es imprescindible para encontrar una teoría apropiada. Pero su uso puede ser peligroso sobre todo cuando la relación ente modelo y teoría sólo pueden controlarse débilmente. El problema más serio es el de identificación. Se dan tres tipos de situaciones (Harvey, D., 1983):

- a) Modelos sobreidentificados.- Podemos postular un modelo y luego encontrarnos con que el modelo tiene más de una interpretación teórica.

- b) Modelos no identificados.- Podemos postular un modelo y encontrar que da excelentes resultados pero que es imposible encontrar una interpretación teórica rigurosa.
- c) Modelos identificados. Un modelo postulado suscita una teoría única. Esta es la situación más deseable pero no es muy común en la investigación en Geografía.

Otros problemas derivados de la construcción de modelos son que la estructuración puede conducir a falsas correlaciones, el carácter sugestivo a predicciones impropias, la aproximación a lo fantástico y la analogía a pasos injustificados de un dominio a otro (Chorley, R.J. y Haggett., P., 1971).

Los geógrafos construyen modelos con mucha rapidez, en la búsqueda de una teoría; pero los modelos están poco desarrollados y por lo tanto no podemos establecer con precisión su campo de acción, ni tampoco podemos identificar con precisión la relación entre modelo y teoría.

La búsqueda de teorías implica el uso de modelos apriorísticos en Geografía, sean o no utilizados conscientemente; pero la historia del pensamiento geográfico está llena de malas aplicaciones de modelos apriorísticos. Podría decirse que la historia del pensamiento geográfico podría considerarse como *“una historia de modelos mal aplicados”* (Harvey, D., 1983).

Parece por tanto indiscutible que la utilización de modelos en Geografía plantea dificultades y peligros entonces: ¿Por qué utilizarlos? La respuesta es porque no tenemos alternativa. Con una teoría geográfica muy poco desarrollada y un campo de investigación de múltiples y complejas variables, es inevitable que los modelos tengan peso en la explicación geográfica. En la ausencia de una teoría geográfica firme, los modelos ofrecen explicaciones temporales o predicciones objetivas aunque no exactas (Harvey, D., 1983).

Actualmente se ha puesto de moda la utilización de modelos con demasiada velocidad y escasa precaución; pero ¿es realmente útil la modelización en Geografía?. La modelización es una herramienta de construcción y aprendizaje de conceptos de Geografía. Es un excelente proceso de comprensión de los fenómenos geográficos que sitúa el estudio espacial en el centro de debate y que utiliza la representación cartográfica y gráfica como principal soporte para la demostración y el razonamiento. Probablemente es la única forma de conceptualizar el conocimiento geográfico y de darle el carácter científico que según G. Molines y V. Cuadrado (1997) tanto le falta.

La construcción y utilización de modelos en Geografía es totalmente necesaria si queremos comprender e interpretar la complejidad que presenta la realidad. Los modelos constituyen un punto de apoyo para nuestra capacidad de entendimiento y una fuente de hipótesis de trabajo para la investigación. Debemos ser conscientes de que un modelo no transmite toda la verdad, pero sí refleja la mayor parte de las características asociadas a determinados fenómenos geográficos, siendo por tanto muy útiles y de fácil comprensión.

“La construcción de modelos y el razonamiento son inseparables, pero el precio a pagar por el empleo de modelos es la vigilancia eterna”. (Braithwaite, R.B., 1953 cit. en Chorley, R.J. y Haggett., P., 1971). A. Kaplan (1964 cit. en Chorley, R.J. y Haggett., P., 1971) pensaba que esta vigilancia era aún más necesaria por cuanto de moda había en aquel momento en la construcción de modelos: “ Los modelos van muy bien con el mundo feliz de las computadoras de la automatización y de la tecnología del espacio y con el extraordinario status que de pronto se ha concedido a los científicos al servicio del gobierno, de la industria y del ejército”.

Parece ser por tanto que los problemas derivados de la utilización de modelos (simplificación, excesiva generalización, adecuación teórica, etc.) pueden

soslayarse si tenemos en cuenta la necesidad de una revisión continua de éstos a medida que las condiciones de la realidad y el nivel de información varíen.

Muchas ciencias han utilizado y construido modelos a lo largo de la historia como método de explicación de sus teorías. Por el contrario la incorporación y la generalización de modelos en Geografía es relativamente reciente.

Fue durante la revolución cuantitativa, desarrollada en los años 50-60, cuando se planteó en Geografía la sustitución del análisis de la diversidad zonal (estudios de carácter idiográfico) por la búsqueda de modelos de estructura espacial de carácter nomotético (de carácter universal, general).

La Geografía Urbana fue de una de las primeras ramas de Geografía Humana en aceptar la revolución cuantitativa. La razón principal era el interés por el análisis locacional, la filosofía del positivismo (realmente positivismo lógico o neopositivismo) y la metodología y propósitos de la ciencia espacial (Johnston, R.J., et al., 2000).

El análisis locacional estudia la disposición espacial de los fenómenos y su metodología es la ciencia espacial². La filosofía del positivismo sustenta esta aproximación centrada en la identificación de teorías sobre las distribuciones espaciales.

Uno de los máximos defensores de este enfoque fue P. Haggett quien plantea promocionar la búsqueda del orden locacional como meta principal de la Geografía contemporánea y la filosofía positivista adoptada por ella (Johnston, R.J., et al., 2000).

² La Ciencia Espacial se basa en la función que tiene el espacio como una variable fundamental, el cual actúa tanto en la organización de la sociedad como en el comportamiento de sus miembros.

La revolución cuantitativa se basó en dos tipos de métodos: los estadísticos y los modelos matemáticos. Estos últimos se inspiran en la física social y en la economía neoclásica la cual influyó en Geografía a través de la ciencia regional y la teoría de la localización.

La construcción de modelos fue determinante e incluso algunos autores (Chorley y Haggett) propugnan un nuevo paradigma científico en Geografía basado en los modelos. Este nuevo paradigma constituía según T. Unwin (1995) una ruptura fundamental con el pasado representado por el antiguo paradigma clasificatorio y regional y su objetivo era *“hacer de la Geografía a todos los niveles una disciplina más atractiva y destacada intelectualmente”*. Estos autores pretendían elevar la Geografía modelándola a imagen de las Matemáticas y de la Física.

La consideración de la Geografía como ciencia espacial puso de manifiesto tres características importantes: la primera fue el deseo mostrado por una nueva generación de geógrafos por sentar las bases de la disciplina sobre cimientos rigurosos aceptados por toda la comunidad científica; la segunda característica fue que la mayoría de los conceptos y metodologías adoptados procedían de otras disciplinas y muy pocos las consideraban exclusivamente geográficas y la tercera era que el objetivo de estas investigaciones se basaba en la creación de leyes y teorías que proporcionasen explicaciones y predicciones al mismo tiempo (Unwin, T., 1995).

Las críticas al análisis locacional y al positivismo lógico aplicado a la Geografía se basaron en que las leyes y modelos elaborados en la década de los sesenta eran insuficientes porque no reflejaban la realidad de la toma de decisiones y por tanto tenían escaso valor para predecir organizaciones locacionales. El resultado o la reacción fue la aparición, entre otras, de la Geografía del Comportamiento, la Geografía Humanística y la Geografía Radical.

La consecuencia de ello según R.J. Johnston et al (2000) fue que aunque el estudio de las pautas espaciales, el uso de métodos cuantitativos relevantes y la búsqueda asociada de leyes de organización espacial, permanecieron como parte de la Geografía Humana, su dominio de la disciplina fue restringido a los años sesenta y principio de los setenta.

El análisis locacional presentó a la Geografía como ciencia social positivista, centrada en el desarrollo preciso de generalizaciones cuantitativamente establecidas sobre las pautas de la organización social y en ofrecer modelos y procedimientos que pudieran utilizarse en la planificación física.

El postmodernismo surge a finales de la década de los ochenta como crítica del modernismo, englobando una serie de argumentos críticos con respecto a la certeza teórica general asociada con el positivismo lógico y el capitalismo.

El postmodernismo resalta la búsqueda de diferencias, rechazando la gran teoría y destacando la creación de un nuevo entorno intelectual y físico para la existencia humana.

Según D. Gregory (cit. Unwin, T., 1995) el postmodernismo se presenta como la combinación de tres características principales: el recelo ante los sistemas de pensamiento que dicen ser completos y globales; “hostilidad” ante las ambiciones totalizadoras de las ciencias sociales convencionales; y el énfasis en la heterogeneidad y la diferencia como unos de los rasgos principales.

Los conceptos sobre los modelos han variado desde las publicaciones de Chorley y Haggett y según R.J. Johnston et al (2000) han vuelto a ser interpretados en tres niveles:

1. Los modelos han sido objeto de una limitada reformulación y realmente ha habido pocos intentos de construir modelos locacionales nuevos, aunque sí se han modificado algunos ya existentes.
2. El objetivo general de construir modelos analíticos como base de la investigación geográfica fue abandonado y los esfuerzos se dirigieron hacia los métodos como medios y no como fines en sí mismos. Estos esfuerzos se mezclaron en un principio con la crítica del positivismo lógico pero desde entonces se ha vuelto a establecer el uso de métodos analíticos en un entorno intelectual más amplio y más sensible a las limitaciones de estos métodos.
3. Estas formulaciones han tenido cierto impacto en la modelización tradicional y en una conferencia celebrada para conmemorar los 20 años del libro *“Models in Geography”* se produjeron opiniones bastante contrapuestas. Entre estas opiniones destacan tres: la primera es la de Harvey quien sugirió que *“ los que han sido fieles a la modelización desde aquellos tiempos tan apasionantes han podido hacerlo restringiendo la naturaleza de las preguntas que se hacían”*; en segundo lugar Cosgrove señaló *“que la modelización es la expresión por excelencia de la modernidad y que es incapaz de responder a los retos de la postmodernidad.”*; por último también había en la citada conferencia científicos que no estaban arrepentidos y que seguían creyendo en la modelización y actualmente se encontraban estimulados en nuevos planteamientos debido a la gran expansión de los Sistemas de Información Geográfica (Johnston, R.J., et al., 2000).

Las opiniones expuestas son bastante contradictorias pero creemos (al igual que la última opinión expresada) que la construcción de modelos se está viendo favorecida y puede sufrir una nueva etapa de expansión debido a las posibilidades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica y así lo demuestra como veremos en el siguiente apartado el que muchos investigadores utilicen actualmente esta herramienta para elaborar modelos urbanos.

1.3. LA MODELIZACIÓN APLICADA: LOS ESTUDIOS DE GEOGRAFÍA URBANA

1.3.1. INTRODUCCIÓN

Los modelos urbanos han evolucionado en el marco de la Geografía Urbana; por esta razón vamos a sintetizar la evolución de la Geografía Urbana con el objetivo de entender mejor la evolución de los modelos urbanos.

Las ciudades siempre han constituido objeto de estudio del geógrafo y desde la antigüedad han formado parte de las Geografías regionales (Estrabón en su Geografía destacaba ya la importancia de la localización); a pesar de ello la Geografía Urbana, considerada como estudio sistemático o temático dentro de la Geografía General, es una rama muy reciente y fue con posterioridad a la segunda Guerra Mundial cuando empezó a enseñarse como tal especialidad en los departamentos universitarios. Según H. Carter (1987) a pesar de las ventajas derivadas de la localización, el estudio geográfico de las ciudades terminó por hacerse esencialmente descriptivo. La descripción da paso a la interpretación de la localización y este hecho va a permitir que la Geografía Urbana se desarrolle como rama especializada en el primer decenio de siglo XX.

Un hito importante que marcó el comienzo de la Geografía Urbana moderna lo constituyó la aparición de la obra de R. Blanchard sobre la ciudad de Grenoble en 1911. Este autor en el prólogo de su libro escribía: *"La idea básica de este estudio no es otra que la de explicar el origen y desenvolvimiento de la ciudad como consecuencia de las condiciones físicas de su situación"* (Blanchard, R., 1911, cit. Carter, H., 1987). Los trabajos en una primera época se centraron por

tanto en encontrar los factores de localización que determinaban el desarrollo urbano.

Posteriormente, se efectuaron toda una serie de estudios denominados de “emplazamiento y situación”, cuyo objetivo principal estribaba en demostrar la importancia del medio físico en la naturaleza de las ciudades. Estos estudios traslucían un cierto determinismo al conceder un papel fundamental a los factores naturales en el origen y el desarrollo de las ciudades. Uno de los motivos de este tipo de estudios podría deberse a la falta de información de variables demográficas, sociales y económicas (Estébanez, J., 1988).

Durante las décadas de 1920 y 1930 se produjeron una serie de cambios importantes que afectaron a la Geografía Urbana, derivados según H. Carter (1987) de:

1. El rechazo a la estereotipada fórmula del emplazamiento y situación. Esta consideración por lo limitada no podía abstraerse de lo que era en realidad un sistema complejo económico y social en funcionamiento.
2. La naturaleza misma del crecimiento urbano. La vasta ampliación de las zonas urbanas producida bajo el estímulo de los nuevos métodos de transporte hizo que se plantearan graves problemas de interpretación. En 1920 los estudiosos de la Ecología Humana de la Escuela de Chicago tomaban en consideración la variedad de fuerzas económicas y sociales que daban lugar a la segregación de los aprovechamientos del suelo urbano. De esta manera la atención de los geógrafos se fue dirigiendo hacia la complejidad del paisaje urbano alejándose así de la aparente simplicidad del plano general y de la expansión urbana.

La Geografía Urbana sufrió un gran impulso a partir de la Segunda Guerra Mundial debido a los siguientes factores:

- Consecuencias de la guerra (bombardeos), las cuales hacían necesaria la reconstrucción de las ciudades.
- Terribles condiciones ambientales de la mayor parte de las ciudades europeas creadas por el incontrolado desarrollo urbano decimonónico.
- Los trabajos de remodelación y reconstrucción urbana exigían una labor de planificación.
- La participación profesional de los geógrafos en la planificación urbana y la interacción entre Geografía Urbana académica y los ámbitos prácticos, aplicados al planeamiento (Carter, H., 1987).

También se produjeron cambios en el marco de la Geografía académica que hicieron más factible el desarrollo de investigaciones sistemáticas. El estudio de las relaciones entre el hombre y su medio ambiente fue sustituido por la diferenciación de áreas en la superficie terrestre. Los factores naturales, considerados hasta entonces fundamentales, perdieron importancia y de la gran variedad de elementos operantes a ninguno concreto se le concedía una importancia a priori. En el campo de la Geografía Económica este cambio supuso la búsqueda de lo universal más que la multiplicación del detalle. *“Este torrente acabó por inundar también al sector urbano en el que por primera vez en Geografía Humana se propuso la construcción de modelos”* (Carter, H., 1987). La Geografía Urbana fue por tanto, la primera rama de la Geografía Humana que incorporó la creación y utilización de modelos.

Los estudios urbanos tuvieron un marcado carácter descriptivo e historicista durante la primera mitad del siglo XX. En la década de los 50 las investigaciones pasaron de preocuparse por la morfología urbana y se centraron en el estudio de lo funcional como consecuencia de la influencia de la Geografía Cuantitativa y del resurgimiento de las obras de Von Thünen y Christaller. El paisaje urbano desapareció como preocupación básica de estudio debido a las dificultades

existentes para cuantificarlo, aplicando el análisis estadístico a los flujos y a las características geométricas de la ciudad. El análisis también se centró en el estudio de funciones de carácter económico vistas desde la perspectiva de la teoría económica neoclásica (valores del suelo, distancias-costos, maximización de utilidades y el empleo del *homo oeconomicus*) (Estébanez, J., 1988).

La teoría de los lugares centrales produjo una amplia producción teórica y empírica en la década de los 60. Asimismo, la teoría de los sistemas conoce un profundo desarrollo debido a las aportaciones de Wilson (1970) en sus estudios sobre tráfico urbano (Estébanez, J., 1988).

A escala intraurbana destacó el desarrollo del análisis de áreas sociales ideado por Sherry y Bell y el redescubrimiento de la Escuela de Ecología Humana de Chicago la cual introdujo en este marco teórico instrumentos de análisis complejos similares a los empleados en la economía factorial (análisis de componentes principales, factorial, de correspondencia, conglomerados, discriminante, escala multidimensionales, etc.) (Estébanez, J., 1988).

En la década de los 80 pervivían según J. Estébanez (1988) cuatro enfoques teóricos dentro de la Geografía Urbana:

1. El enfoque de la Ecología Humana aunque apoyado en supuestos menos biológicos y con empleo abundante de estadística.
2. El enfoque economicista derivado de la teoría económica neoclásica que trata de explicar la distribución de los usos de suelo de la ciudad entre los diferentes grupos sociales, basándose en el supuesto de que las empresas buscan el máximo beneficio y las familias la máxima utilidad.
3. Enfoque conductista, el cual supone que la estructura urbana no puede comprenderse plenamente identificando formas de vivienda y niveles de renta similares. Es la estructura cognitiva de la ciudad y no el paisaje natural quien

determina el comportamiento espacial que adoptan tanto individuos como grupos en la ciudad.

4. Enfoque derivado de la economía política. Este surge como consecuencia de la preocupación por las lacras urbanas detectadas por los geógrafos y demás científicos sociales en la década de los 60. Los estudios realizados por la Geografía del Bienestar y la Geografía Radical Marxista formarían parte de este enfoque.

Las tendencias en Geografía Humana y concretamente en Geografía Urbana están cambiando en la actualidad debido a la incorporación de teorías procedentes de otras disciplinas tales como la Física o las Matemáticas.

La organización espacial de los asentamientos tiene una estructura morfológica abstracta; es un espacio anisótropo engendrado por una dinámica interna.

Según G. Desmarais y G. Ritchot (1998) la teoría de la forma urbana, dentro de la Geografía estructural, tiene cuatro tipos de modelización dinámica en Geografía Urbana. Admitidos los principios clásicos de estructura urbana y las teorías sobre la estructura y dinámica urbana es necesario importar teorías procedentes de las Matemáticas y la Física. Estas teorías tratan de la capacidad de organización de los sistemas, de su estabilidad y de la segmentación espacial de las partes en un todo y son:

1. Teoría de las catástrofes.

Esta teoría fue desarrollada por René Thom y explica la aparición, el mantenimiento y la desaparición de las morfologías que pueden pertenecer a fenómenos muy diversos. Desde este punto de vista, hay catástrofe cuando una variación continua de causa conlleva una variación discontinua de efecto.

Toda forma se despliega en un espacio sustrato. Si este espacio es isótropo, si las propiedades se modifican de forma continua, no hay morfología. Para que una forma aparezca deben existir propiedades cualitativas del sustrato.

La teoría de las catástrofes es fuente de modelos matemáticos que permiten el análisis de las formas del mundo sensible y también de las morfologías abstractas como estructuras semánticas y sintácticas del lenguaje.

2. Teoría de los fractales.

Esta teoría fue desarrollada por Benoît Mandelbrot y estudia una familia de formas particulares. El concepto nos remite a formas fragmentadas, fraccionadas, irregulares e interrumpidas. La geometría fractal concierne a lo que está roto, fracturado, granulado, encabalgado.

Las formas están dotadas de una irregularidad intrínseca que se mantiene en todas las escalas de observación.

La teoría de los fractales conduce a la elaboración de modelos que permitan clasificar las formas irregulares para sacar formas geométricas.

3. Teoría de las estructuras disipativas.

Ilya Prigogine desarrolló esta teoría interesada en el estudio de procesos de auto-organización relativos a las interacciones entre numerosos individuos a priori idénticos.

Las estructuras disipativas surgen de la emergencia espontánea de un orden en el seno de un sistema constituido por gran número de entidades atómicas sometidas a restricciones externas. Estas estructuras se engendran y estabilizan por flujos de materia y energía que intercambian con el medio que le rodea. Ellas implican

“fracturas de simetría” que la teoría asocia a rupturas de equilibrio del sistema en que se actualiza.

4. Teoría sinérgica

Esta teoría fue desarrollada por Hermann Haken y estudia la evolución espacio-temporal de los sistemas compuestos por numerosos subsistemas relacionados entre ellos por relaciones de cooperación. Siendo la suma de los subsistemas locales diferente a la suma de los efectos separados de cada uno de ellos, la teoría sinérgica busca comprender las repercusiones de las relaciones de cooperación sobre la organización espacio-temporal del sistema global. Ello explica los procesos de auto-organización que caracterizan en la escala microscópica las interacciones de los componentes del sistema; es decir, busca el orden microscópico y a partir de él estructuras globales.

Estas cuatro teorías son independientes pero complementarias y forman un nuevo cuerpo para conceptualizar el análisis dinámico, destacando además su importancia como teorías interdisciplinarias (Desmarais, G., y Ritchot, G., 1998).

1.3.2. MODELOS URBANOS

Es imposible recoger en este trabajo, y además no es su objeto, todos los modelos urbanos, así como las diferentes ampliaciones y derivaciones que han surgido a lo largo de la historia; por tanto nos vamos a centrar bien en los modelos que han tenido más repercusión o en aquellos que consideramos más importantes para el desarrollo de este trabajo.

“Si bien es cierto que la inestabilidad del hecho urbano no es cuestionable ni cuestionada, no lo es menos que, cuando se trata de especificar las razones de los cambios, entonces desaparece el acuerdo” (Lavedan, P., 1936, cit. Bailly, A.S., 1978)

Las palabras que P. Lavedan escribió en 1936 expresaban y expresan actualmente la complejidad de estudio de los fenómenos urbanos. En primer lugar, la multiplicidad de funciones que coexisten en el espacio urbano hace que cualquier estudio relacionado con él sea sumamente problemático de abordar. En segundo lugar, el gran dinamismo presente en los espacios urbanos implica que los estudios queden pronto obsoletos, dependiendo su utilidad de una constante revisión. Teniendo en cuenta estas dificultades debemos buscar parámetros que nos ayuden a explicar y a entender los cambios y por qué no a aplicar los resultados obtenidos a otros espacios similares. Esto podemos hacerlo mediante la utilización de modelos urbanos.

“En las ciencias sociales, el método experimental implica que la teoría ha de ser verificable. A este respecto, se habla entonces de la utilización de modelos” (Bailly, A.S., 1978). La definición y la importancia de la utilización de modelos en Geografía ya ha sido detallada anteriormente, pero nos gustaría añadir el concepto de modelo de A. S. Bailly (1978). Para este autor un modelo es *“una aplicación experimental basada en una teoría. Es un filtro a través del cual se ve el mundo. Si es bueno, nos permitirá captar una realidad estructurada en lo que antes se nos aparecería como un caos”*.

Modelo y teoría, en la mayor parte de los casos, implican un mismo contenido aún cuando en el estudio de problemas urbanos, un modelo represente frecuentemente la formulación y la expresión de una situación concreta, de un caso determinado, según unos principios generales que responden a la teoría (Zeitoun, J., 1971, cit. Bailly, A.S., 1978).

La construcción de modelos surge de una necesidad de comprensión profunda del fenómeno urbano que solo puede ser satisfecha por la interpretación teórica (Bailly, A.S., 1978).

Los modelos gráficos han sido tradicionalmente las herramientas empleadas para analizar el espacio urbano. La representación cartográfica o gráfica se utiliza para investigar fenómenos poco conocidos o para comprobar la autenticidad de determinadas hipótesis. Los modelos gráficos pierden importancia durante un largo periodo debido a que la interpretación de los resultados deja un amplio margen a la subjetividad y las medidas realizadas eran más cuestión de apreciación que de exactitud. En la actualidad los modelos gráficos vuelven a tener gran importancia con el desarrollo de los coremas de R. Brunet.

El geógrafo para evitar los problemas derivados de la subjetividad recurre a otros procedimientos: estadísticas avanzadas, imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica. La utilización y el dominio de las técnicas permite evitar errores de interpretación que son numerosos en las comparaciones intuitivas y en los métodos cualitativos tradicionales. Así pues, la Geografía Urbana contemporánea dispone de una gran variedad de técnicas destinadas a elaborar las teorías y a verificar su validez.

“Los sistemas, no son más que meros conjuntos de variables y sus interacciones, pero que esta noción resulta útil a la hora de construir modelos.” (Webber, W., 1965, cit. Bailly, A.S., 1978). Los elementos básicos del sistema urbano según este autor se clasifican en 5 grupos de características diferentes: Los objetos son móviles, las actividades están ligadas entre sí, la infraestructura física es inmóvil, los terrenos constituyen una entidad especial y la legislación depende del hombre y su sistema social. Este autor teniendo en cuenta estas características elabora una tabla (tabla nº 1) que engloba los aspectos fundamentales que intervienen en las principales teorías y señala que debido a las dificultades de integración que

todos los elementos del sistema urbano plantean los investigadores privilegian uno u otro subsistema.

Tabla N° 1: Elementos del sistema urbano

| <i>Objetos</i> | <i>Actividades</i> | <i>Infraestructura física</i> | <i>Terrenos</i> | <i>Legislación</i> |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| Población | Residencia | Edificios | Diversas utilizaciones de los terrenos | Decisiones |
| Bienes | Producción de bienes y servicios | Casas Escuelas Fábricas Oficinas Comercios | | Objetivos |
| | Empleos | | | |
| Vehículos | Desplazamientos para comprar | | | |
| | Educación | Medios de transporte: Carreteras Vías férreas Puertos aeropuertos | | |

Fuente: W. Webber (Bailly, A.S., 1978)

Todo modelo está basado en una teoría y su objeto es permitirnos conocer mejor los comportamientos de los sistemas urbanos. Ahora bien, el investigador para construir un modelo que pueda ser aplicado y resulte útil a la Geografía Urbana tiene que seguir un método riguroso (Bailly, A.S., 1978). En este sentido, hay autores que basándose en el estudio de diferentes modelos establecen una serie de reglas que deben tenerse en cuenta a la hora de construir modelos. Uno de estos autores es A. G. Wilson (1968 y 1974, cit. Bailly, S.A., 1978) el cual establece un método que permite según él, verificar las hipótesis teóricas avanzadas por los investigadores y proseguir el análisis teórico fundamental. El método se basa en las siguientes cuestiones:

1. ¿A qué cuestiones debe responder el modelo? Es necesaria una investigación de sus utilizaciones potenciales.
2. Redactar una lista de variables que han de integrarse en el modelo.

3. Verificar la exactitud de variables, al objeto de saber si el modelo podrá ser verdaderamente operativo.
4. Reagrupamiento de variables. ¿Qué tipos de variables se necesitan para construir un modelo preciso?
5. La incorporación de la noción temporal.
6. Dada la importancia del comportamiento de los sistemas debería integrarse la teoría del comportamiento.
7. Análisis de las técnicas disponibles con arreglo a los objetivos del modelo
8. Se debe decidir la importancia que se le quiere dar al modelo (según los datos y los objetivos) y a las posibilidades de someterlo a prueba.

Tipos de modelos

La complejidad de análisis del espacio urbano ha sido la causa por la que los modelos urbanos desarrollados a lo largo de la historia (fundamentalmente el siglo XX), hayan sido numerosos y de muy diferentes características, por ello, establecer una tipología de modelos urbanos es una labor bastante complicada.

A.S. Bailly (1978) establece una división de modelos urbanos basándose en su naturaleza; este autor diferencia dos tipos: los modelos de simulación y los matemáticos. El modelo matemático determina las relaciones existentes entre diversos fenómenos del mundo real; en estos modelos no se lleva a cabo un análisis profundo de los procesos, lo que dificulta la generalización y en algunos casos la aplicación de la teoría al fenómeno concreto. *“La simulación, las más de las veces posibilita la superación de esta dificultad. Se conoce la situación global y los procesos en juego, pero se ignora su participación en el desarrollo general. Mediante la atribución de reglas coyunturales a cada uno de ellos, es factible realizar en un ordenador un trabajo de reconstitución... se intenta ver si las reglas elegidas permiten la evolución real”* (Claval, P., 1972, cit. Bailly, A.S., 1978).

Nosotros creemos que esta diferenciación no es correcta, debido a que la mayor parte de los modelos de simulación son en sí mismos modelos matemáticos y aún existiendo diferenciaciones, pensamos que en ningún caso estos dos tipos de modelos son excluyentes.

Conforme a la temática, los modelos urbanos pueden agruparse en dos grandes grupos: un primer grupo encargado del estudio de la localización y distribución de asentamientos y un segundo grupo destinado a estudiar la estructura de las áreas urbanas. Si bien en este trabajo nos vamos a centrar en el segundo grupo, ambos tienen un elemento en común y es que suponen un cierto grado de orden en el comportamiento espacial (Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971). Estos autores señalan la existencia de “regularidades” implícitas en la mayor parte de los modelos y que son las siguientes:

1. La importancia del factor distancia. Cualquier distribución espacial de la actividad humana se realiza en función de la distancia.
2. La localización de cualquier actividad humana se realiza teniendo en cuenta el principio del mínimo esfuerzo. Es decir, se pretende minimizar el movimiento y alcanzar los objetivos por el camino más corto.
3. Existen localizaciones más accesibles que otras aunque todas tienen un cierto grado de accesibilidad. La accesibilidad está relacionada con el movimiento y por tanto con el transporte.
4. Las actividades humanas tienden a concentrarse para aprovechar las ventajas de las economías de escala. Se pretende disminuir los costes concentrando en lugares concretos actividades industriales, comerciales, urbanas, etc.
5. La organización de la actividad humana tiene carácter jerárquico.
6. El asentamiento humano tiene carácter focal. Los nodos en torno a lo que se organiza la actividad humana son de tamaño variable y están organizados jerárquicamente por lo cual se deduce que también existe una jerarquía en las regiones focales que también es de tamaño variable.

Los sistemas urbanos son muy heterogéneos, al igual que lo son las posibilidades metodológicas. Este hecho tiene como consecuencia la existencia de un gran número de teorías y modelos encargados del estudio de los distintos campos de análisis. Por otro lado, en el estudio de la ciudad y su región toda investigación desde la teoría al modelo, tiene como objeto una aplicación práctica estableciéndose grupos de modelos que se basan en diversas teorías y que son verificadas en su mayor parte a través de la utilización de estadísticas y del ordenador (Bailly, A.S., 1978).

Las estadísticas, en algunos casos, no son válidas para el análisis de modelos de la estructura urbana; en estos casos, el geógrafo debe apoyarse en otras fuentes tales como la cartografía, datos demográficos o imágenes de satélite. La variedad de estas fuentes de información y los diversos enfoques posibles, hacen necesaria la utilización de múltiples técnicas para su formulación: geometría euclidiana, indicadores de medición de la dispersión espacial, cálculo de probabilidades, teoría de grafos, modelos de gravedad y procesos de simulación (Bailly, A.S., 1978).

Los modelos de la organización del espacio urbano se presentan bajo tres formas (Bailly, A.S., 1978):

1. Modelos descriptivos o morfológicos. Explican las regularidades y la estructura de un fenómeno, por ejemplo los modelos de Burgess y Hoyt.
2. Modelos explicativos. Explican las regularidades que la organización urbana manifiesta para lo cual utilizan técnicas matemáticas diversas (modelos analíticos, iterativos, probabilísticos, y de simulación), por ejemplo los modelos de Park y Hurd.
3. Modelos normativos o prospectivos. Presentan aquello que es mejor para la sociedad, por ejemplo el modelo de la Ciudad Jardín de Howard.

Los diferentes investigadores no han establecido claramente un acuerdo acerca de las tipologías de modelos de estructura urbana teniendo en cuenta el enfoque de estudio.

H. Carter (1987) y J. Estébanez (1988) coinciden en diferenciar dos enfoques: el enfoque ecológico, derivado de la Ecología Humana y el enfoque económico o economicista. H. Carter (1987) a pesar de esta distinción matiza que el enfoque ecológico tiene un claro componente económico. Estos dos autores no están de acuerdo en el resto de los enfoques de estudio que plantean. H. Carter (1987) señala la existencia de un tercer enfoque de estudio basado en sistemas de actividad y J. Estébanez (1988), por el contrario, establece dos enfoque más: el marxista y el basado en el análisis de procesos sociales.

R.J.Chorley y P.Haggett (1971) diferencian dos grandes grupos en los modelos de estructura urbana: modelos parciales, referidos a la localización de una actividad concreta del total de actividades urbanas y modelos totales encargados del estudio de la localización de todas las actividades urbanas. En ambos se concede una importancia determinante al transporte, como factor que condiciona los usos del suelo. Para estos autores todos los modelos son de carácter económico; son los procesos económicos los encargados de regular todas las decisiones acerca de las estructuras del uso de suelo urbano. Con esto no queremos decir que estos autores no pongan de manifiesto en la explicación de los modelos, la influencia de la Ecología Humana, sino que no establecen ninguna tipología basada exclusivamente en estos conceptos. R.J.Chorley y P.Haggett (1971) agrupan los modelos en modelos de usos de suelo (concéntricos, sectoriales y nucleados) y modelos derivados de las densidades de población urbana.

A.S. Bailly (1978) considera al igual que R.J.Chorley y P.Haggett (1971) que hasta los años 70 todos los modelos de estructura urbana son económicos

diferenciando entre ellos: modelos clásicos desarrollados por la escuela de Chicago, modelos derivados de las densidades urbanas, modelos basados en la renta, en las actividades residenciales, en los transportes, etc. Este autor señala que a partir de los 70 aparecen otros modelos que “*rechazan la idea de equilibrio y decisión racional optimizante.*” Aparecen conceptos tales como complejidad del sistema de interacción y libertad de decisión humana que sustituyen a los esquemas del homo economicus. El medio ambiente es considerado como un sistema cuyas relaciones están constituidas por las comunicaciones humanas. Se da importancia a la percepción del paisaje la cual es el resultado de un conjunto de factores formado por la naturaleza, el medio humano y las relaciones subjetivas que el hombre produce en su medio. En este cambio influye también el desarrollo de la Geografía Conductista (behaviorista) encargada de temas referentes a la vida social tales como migraciones, los comportamientos y la circulación de la información.

A.S. Bailly (1978) agrupa todos estos nuevos modelos que aparecen a partir de los 70 bajo el nombre de sistemas sociales. Este autor incluye también con en este último apartado el análisis sistémico.

Nosotros no estamos totalmente de acuerdo con A. S. Bailly ya que el análisis sistémico no es únicamente un enfoque o una teoría social, sino que puede tratar otro tipo de aspectos como los económicos y por tanto ya no sería un enfoque social.

Nosotros vamos a establecer una tipología basada en tres grupos de modelos de estructura urbana: modelos derivados de la ecología humana, modelos económicos y modelos sociales. Somos conscientes que debido a la importancia de la componente económica en los dos primeros grupos mencionados, ambos podían haberse unido, pero el objetivo de este apartado es realizar una revisión

de los principales modelos de estructura urbana y consideramos que este objetivo queda más claro con la tipología indicada anteriormente.

1.3.2.1. Modelos derivados de la Ecología Humana: Enfoque ecológico

Este enfoque parte de los estudios de la escuela de sociología de Chicago, encabezada por los sociólogos E. W. Burgess y R.D. Mckenzie en los años 20.

La Ecología Humana se entiende como las relaciones espaciales que mantienen los seres humanos las cuales son consecuencia de la actuación de un complejo de fuerzas físicas y culturales (Estébanez, J., 1988). Se trata por tanto, de aplicar a las sociedades humanas conceptos como dominación, sucesión, invasión, simbiosis, etc., conceptos derivados de la biología, la botánica y la zoología e inspirados en las ideas de Darwin. La ciudad se considera como un organismo social en donde el comportamiento individual y la organización social están regidas por la lucha por la existencia. Los conceptos básicos del enfoque ecológico son comunes a plantas, animales y hombres y son:

- Competencia Personal. Principio que origina una distribución ordenada de la población y una diferencia dentro del hábitat. Se origina una lucha por el espacio que da como consecuencia una segregación de la población que ocupa áreas naturales de la ciudad. El mecanismo básico de segregación residencial es la diferenciación económica (Estébanez, J., 1988).
- Principio de dominación. En la ciudad el centro de negocios es el área con precios más elevados. La presión sobre este espacio, determinada por la accesibilidad, ocasiona la configuración básica de la sociedad. Otros conceptos relacionados con el principio de dominación son los conceptos de invasión-sucesión. Se entiende por invasión, la aparición de un grupo o uso del suelo no deseado por la comunidad; esto implica una amenaza al equilibrio alcanzado en el área natural, llegándose a restablecer el equilibrio,

cuando se completa la sucesión, momento en el cual todo vestigio de usos de suelo o grupos humanos anteriores, puede desaparecer. Park cit. J. Estébanez 1988 entiende por sucesión “*secuencia ordenada de cambio a través de la cual una comunidad pasa en el curso de su desarrollo desde un estadio primitivo y relativamente inestable a un estadio relativamente estable*” .

Los modelos clásicos derivados de la Ecología Humana son: el modelo de zonas concéntricas de E.W. Burgess (1926), el modelo de sectores o sectorial de H. Hoyt (1939) y el modelo de centros o núcleos múltiples de C.D. Harris y E.L. Ullman (1945).

Modelo de zonas concéntricas de E.W. Burgess (1926).

Este modelo parte de unos supuestos muy similares a los mantenidos por Von Thünen en 1826 para explicar la distribución de cinturones agrícolas, basados en la función renta-distancia. Burgess plantea que la organización de los usos de suelo en la ciudad es concéntrica, dispuesta en torno al centro de la ciudad. El modelo resultante está compuesto por cinco coronas concéntricas que evidencian a la vez áreas de extensión urbana y tipos de áreas diferenciadas en el proceso de expansión.

La primera corona está constituida por el centro de negocios (CBD). Es la zona más cara de la ciudad y la que goza mejores condiciones de accesibilidad, en esta corona la función residencial es prácticamente nula.

La segunda corona es la denominada “*zona de transición*”; es una zona de viviendas superpobladas, que ha sufrido un gran deterioro desde el punto de vista residencial y que está ocupada por inmigrantes de primera generación y minorías étnicas, en una palabra por grupos sociales de bajo poder adquisitivo y cultural.

La tercera corona es la zona de “*residencia de trabajadores independientes*”, ocupada por inmigrantes de segunda generación y obreros industriales. La constitución social de estas familias está formada por los padres (obreros manuales) y los hijos trabajadores de servicios y comerciantes.

La cuarta corona está ocupada por las clases más acomodadas, se corresponde con la clase media americana que ocupa apartamentos de clase alta o viviendas unifamiliares.

La quinta corona es la conocida como “*commuter zone*” o zona de movimientos pendulares de trabajadores; es una zona residencial ocupada por viviendas unifamiliares exentas con jardín aunque también aparecen núcleos rurales y viviendas ocupadas por trabajadores manuales.

Burgess añade a estas zonas una sexta que es la agrícola y una séptima que es el área de influencia de la ciudad. Se trata por tanto de una sucesión de invasiones. Cada clase prepara el terreno y luego se desplaza hacia zonas más agradables en la periferia de la ciudad originando un marcado proceso de segregación social.

Burgess para formular su modelo se basa en las condiciones existentes en la ciudad de Chicago en los años 20, pero estas condiciones no eran las mismas en el resto de las ciudades de ahí que surgieran numerosas críticas a esta teoría. Críticas que podrían concentrarse en:

- Exageración de la analogía biológica y la reducción del comportamiento humano a mecanismos biológicos (Estébanez, J., 1988).
- El crecimiento de la ciudad normalmente va acompañado por un aumento de la densidad plasmado en el gradiente de densidad. El gradiente de densidad aumenta y disminuye de forma continua y supone que ya no es posible delimitar las zonas (coronas) de una forma tan clara.

- Otra de las críticas parte de que la idea de centro único válida para el siglo XIX (cuando el comercio, la industria y la administración estaban localizados en un espacio restringido) no es posible mantenerla en la actualidad. La forma circular de las coronas concéntricas está condicionada por los ejes de transporte y la configuración más normal, del espacio es en forma de estrella (Bailly, A.S., 1978).
- Este modelo no tiene en cuenta la historia ya que parte del supuesto de que el status socioeconómico aumenta del centro a la periferia y esto no es cierto en ciudades preindustriales, ciudades del tercer mundo o pequeñas ciudades de escaso desarrollo industrial y fuerte tradición de Europa Occidental en las cuales el centro puede estar ocupado por clases sociales de alto status socioeconómico (Estébanez, J., 1988).

J. A. Quinn (1940, cit. Bailly, A.S., 1978), por todas estas críticas, manifestó que *“Todas las ciudades norteamericanas que he observado o estudiado tienen una estructura más o menos próxima a la construcción ideal; con todo ninguna constituye un ejemplo perfecto”*.

R.J.Chorley y P.Haggett (1971) señalan que Burgess en su modelo no explicó la distribución de usos del suelo. Según ellos otros autores como B.J.L. Berry en 1959 y W. Isard en 1959 lo explican mediante el proceso de sustitución de rentas por costes de transporte. La accesibilidad decrece uniformemente en todas las direcciones a partir del centro de la ciudad; por ello, la renta que una actividad determinada está dispuesta a pagar por el uso de terrenos disminuye a partir del centro de la ciudad.

La irregularidad de que el centro de la ciudad con valores más caros esté ocupado por la población con menor nivel adquisitivo y la periferia por las clases más altas lo explican W. Alonso en 1960 y L. JR. Wingo en 1961 a través de los modelos de transporte y usos del suelo. Estos se basan en que el presupuesto total

que tienen las familias para satisfacer todas sus necesidades está compuesto por: los gastos básicos de la vida, gastos de vivienda y gastos de transporte para desplazarse al lugar de trabajo (centro mayoritariamente). Las familias pobres con menos dinero para transporte deciden vivir cerca de donde trabajan pudiendo pagar porciones muy pequeñas del valor altísimo que alcanzan los terrenos cerca del centro. Por el contrario, las familias más ricas pueden permitirse pagar más por transporte diario al centro (Chorley , R.J.y Haggett, P., 1971).

El modelo de Burgess es un modelo inductivo; sin embargo, investigaciones posteriores han intentado volver a formular el modelo en forma de teoría deductiva, basado en los siguientes supuestos (Schnore, L. F., 1965, cit. Carter, H., 1987):

1. Presupuesto de heterogeneidad. Basado en la existencia de tipos de población con amplios contrastes (raza, cultura, ocupación, clase social etc.) .
2. Presuposición de una base económica. Burgess consideraba una ciudad industrial-comercial, pero ha de lograrse una mayor claridad si se especifica un determinado carácter económico funcional.
3. Presupuestos económicos y culturales.
4. Presupuestos relativos a la geometría del espacio. Es necesario suponer la existencia de un solo centro y es en el centro donde se hace menor la oferta de espacio. El centro es el que alcanza valores más altos.. La competencia por el centro está determinada por la capacidad económica.
5. Existencia de patrones de ocupación. Las clases sociales más altas serán capaces de mantener una prioridad en la adquisición de áreas nuevas y más deseables.

Aun partiendo de estas premisas el progreso que se consigue no convence porque más que deducir Schnore procede a catalogar una serie de variables (Carter, H.,1987).

El modelo de sectores de H. Hoyt (1939).

Las críticas suscitadas por el modelo de Burgess llevaron a Hoyt entre 1933 y 1939 a analizar 142 ciudades norteamericanas para establecer un nuevo modelo de estructura urbana. Este autor llega a la conclusión de que la existencia de ejes de transporte hace más deseable los terrenos próximos a éstos, aumentando por tanto su valor. La ciudad se desarrolla hacia la periferia siguiendo los ejes de transporte. Las zonas residenciales aumentan, cerca de los ejes de transporte (carreteras y ferrocarriles) en emplazamientos que no puedan estar afectados por las catástrofes naturales (por ejemplo inundaciones), en torno a la orilla de ríos y lagos siempre que estos espacios no estén ocupados por la industria, en los terrenos libres de la periferia urbana y en localizaciones prestigiosas próximas al centro (donde no está ocupado por actividades comerciales o administrativas) (Bailly, A.S., 1978).

Las residencias pertenecientes a las clases más elevadas se desplazan hacia la periferia debido a la mayor necesidad de espacio. Una vez adquirido el carácter de residencia de calidad el sector proseguirá su crecimiento en dirección al exterior y su lugar será ocupado por grupos sociales de menor nivel económico. La dirección y no tanto la distancia es la variable que determina los contrastes en los usos del suelo. Este movimiento no se realiza a saltos, sino según sectores o cuñas.

Algunas de las críticas a este modelo han sido puestas de manifiesto por J. Estébanez (1988) el cual las resume en:

- Ambigüedad del concepto de sector. Hoyt aplica indistintamente este concepto a una calle, barrio o distrito urbano.
- El final de las casas vacías no ocupadas por ningún grupo no siempre es la demolición, sino la conversión en otro uso o su remodelación para apartamentos de lujo.

- La demanda de vivienda no puede satisfacerse únicamente con la dejada por otros grupos, sino que es preciso la construcción de nuevas viviendas.
- Inercia a mantenerse en la residencia por motivos sentimentales y también a dejar viviendas vacías en el centro.
- Asimismo, se produce un fenómeno contrario “*gentrificación*” que es la ocupación del centro por grupos de una clase media cosmopolita, bohemios, intelectuales o por profesiones liberales, mejorando y revalorizando el barrio.

El modelo de núcleos o centros múltiples. C.D.Harris y E.L. Ullman (1945).

Estos autores ponen de manifiesto que la distribución sectorial de usos del suelo es consecuencia directa de la existencia de múltiples centros de atracción, relacionados entre sí por medio de ejes de transporte. Ellos plantean que desde el momento en que se formula la necesidad de utilizar varios medios de transporte (estaciones ferroviarias, de metro, aeropuertos, etc.) aparecen establecimientos encargados de solventar las necesidades de la población. Todos los puntos fácilmente accesibles, incluidas las zonas industriales, comerciales, cementerios etc., originan flujos y por tanto la estructura de la ciudad se vuelve multinuclear. Los núcleos resultantes se convierten en centros especializados que se desarrollan por la influencia desempeñada por un gran número de factores. Entre estos factores la distancia es simplemente uno más, pero no el más determinante de esta configuración, influyendo en dicha estructura los siguientes elementos:

- Determinadas actividades necesitan servicios y localizaciones concretas; por ejemplo, el centro comercial debe localizarse en el centro de la ciudad (CBD) debido a su gran accesibilidad; por el contrario otras actividades, como la industria, necesitan la proximidad de una vía de comunicación o de un puerto.
- Actividades semejantes se agrupan para beneficiarse de los efectos derivados de las economías de aglomeración.

- Existen actividades opuestas, es decir, que una localización próxima resulta perjudicial para ellas. Por ejemplo, la existencia de industrias tóxicas, mataderos ó cementerios, no beneficia la construcción de áreas residenciales.
- Hay actividades que no pueden pagar las rentas derivadas de las localizaciones más favorables y ello les obliga a reagruparse.

El número de centros varía de una ciudad a otra como consecuencia de la actuación de los factores anteriormente mencionados y de la evolución histórica y de la ciudad, pero cuanto mayor sea la ciudad, mayor será el número de centros y también mayor será su especialización. El propio C. D. Harris (1997) cincuenta años más tarde de la aparición de este modelo reconoce su trascendencia y también las críticas derivadas fundamentalmente de los cambios producidos en las estructuras y en los procesos urbanos desde su publicación.

Este autor concentra en seis puntos las críticas o comentarios a los modelos.

1. Los modelos fueron simplificaciones esquemáticas, su poder y memorabilidad, estaba en su simplicidad, pero posiblemente también en parte en su sumario gráfico y la facilidad de comprensión y reproducción de esbozos, croquis, mapas y diagramas. Pero los modelos y cartodiagramas no deben confundirse con la complejidad de la realidad actual de las ciudades.
2. El modelo apareció en el tiempo en el que la mayor parte de los estudios de Geografía Urbana eran descriptivos, pero en aras de una mayor veracidad en Geografía hacia la búsqueda de leyes generales o regularidades, los métodos cuantitativos son los que proporcionaron excelentes resultados, tanto en relaciones estadísticas como en modelos gráficos. Los estudios cuantitativos son necesarios para explicar la mayor parte de las variaciones en ciudades individuales. Estas pueden describirse por referencia a la distancia desde el centro de la ciudad, por características diferentes de diversos sectores de la ciudad y por individualidades de áreas discretas. El desarrollo de bases de

datos de lugares específicos con los ordenadores y las técnicas de cuantificación más avanzadas han permitido el análisis de patrones internos en la ciudad en forma que apenas era soñada cincuenta años atrás. El análisis de áreas sociales y análisis factorial ofrece estas posibilidades.

3. Los modelos son estáticos, pero las ciudades evolucionan en el tiempo produciéndose cambios en la cultura, sociedad, economía y tecnología, pero siempre conservan vestigios del pasado. Las formas en el entorno de la construcción, a lo largo del tiempo pueden ser adaptadas a las diferentes funciones derivadas del crecimiento de la ciudad.
4. Los modelos están basados en las ciudades americanas de los años veinte. Pero las ciudades tienen patrones diferentes según su cultura; por ello estos modelos no se adaptan bien a todas las ciudades (ciudades centro europeas o ciudades del tercer mundo).
5. Las aptitudes sociales y la política pública pueden afectar duramente a las pautas urbanas. Políticas o ideales de igualdad y justicia social pueden expresarse en patrones del suelo; por ejemplo, los problemas raciales se reflejan en la estructura del suelo urbano.
6. Los modelos no expresan directamente dirección de causalidad. La línea de la causalidad puede ser larga y compleja, pero sin embargo causas diversas pueden dar similares productos finales.

C.D. Harris (1997) realiza a su vez cuatro observaciones de los patrones externos de la distribución de las ciudades.

1. El enfoque de la teoría de los lugares centrales en la distribución de las ciudades en relación con su área tributaria comienza a ser reemplazado por el estudio de las relaciones entre los sistemas de ciudades. Esto es reflejo de la dramática ascensión en la proporción de población urbana. Cuando el 80% de la población es urbana, como en los países desarrollados, la mayor parte de

las relaciones son urbanas- urbanas dentro de las redes urbanas, más que urbana – rural dentro de las tradicionales áreas tributarias contiguas. Las relaciones a escala mundial, debido a la globalización, también se incrementan.

2. El estudio de los lugares centrales ha progresado rápidamente con valiosas investigaciones empíricas, a través de análisis estadísticos sofisticados.
3. Los estudios detallados de los lugares centrales prestaron poca atención a las ciudades con patrones lineales desarrolladas en torno a las rutas de transporte. El factor dinámico, a principios de siglo, fue el ferrocarril, y actualmente son las autovías y autopistas.
4. La especialización funcional de las ciudades ha cambiado. El peso relativo basado en recursos mineros o ciudades industriales ha descendido, mientras las complejas agrupaciones de numerosas áreas metropolitanas con base económica diversas, especialmente las que desarrollan funciones cuaternarias del sector servicios (Megalópolis), tienen un incremento relativo. La concentración de la urbanización en áreas que ofrecen buenas condiciones medioambientales (clima, paisajes, etc.) tiene gran expansión.

Estos tres modelos derivados de la sociología urbana implican que la variada realidad urbana se reduce a algunos elementos y eso no es así. Son útiles porque han servido de base a multitud de estudios y modelos explicativos. C.D. Harris (1998) escribió un artículo que recogía la difusión del modelo original y los cambios producidos en libros y revistas científicas.

R.J.Chorley y P.Haggett (1971) ponen de manifiesto que estos tres modelos no son excluyentes entre sí y que podría esperarse que en una ciudad se encontraran elementos que pertenecieran a los tres tipos de estructura.

El Modelo periférico.

En la segunda mitad del siglo XX se han producido cambios importantes en la mayor parte de los países desarrollados. La población, el empleo y poder político aumenta en las áreas suburbanas en detrimento del centro. Según C.D. Harris (1997) esto ocurre por diversos factores:

- La rigidez de la estructura de la política administrativa en EEUU tiene como consecuencia que la expansión del crecimiento del área urbana se realice hacia el exterior. Su crecimiento se efectúa en unidades políticas fuera del área central original con límites fijos.
- Cambio en las preferencias residenciales de la población. Se produce un aumento de casas individuales con gran disponibilidad de espacio y próximas a espacios de buena calidad ambiental.
- Establecimiento coche privado.
- Políticas de financiación desarrolladas por agencias del estado.
- Un proceso de filtrado por el cual las familias tienden a agruparse con otras familias que tienen similares viviendas, necesidades y características sociales y económicas.
- Las posibilidades de empleo aumentan más en áreas suburbanas que en las áreas centrales.
- Requerimiento de grandes bloques de suelo para desarrollo y para construcción de zonas de aparcamiento, para los ciudadanos que vayan a trabajar en coche privado.
- Incremento de redes de transporte terrestre, fundamentalmente carreteras de buena calidad, autovías, autopistas con alta capacidad para el desplazamiento en coche personas o de mercancías.

Estos nuevos desarrollos están potenciados fundamentalmente por nuevos patrones y pautas de transporte. A comienzos del siglo XX los pasajeros se desplazaban en ferrocarril, pero a final de siglo domina el avión, el coche privado y el autobús; también en los últimos años debido a los problemas de congestión de tráfico se potencia nuevamente la utilización del tren. La red de carreteras favorece las redes urbanas y también da sistemas periféricos de paso entre ciudades.

La industria, centros de negocios y otras actividades económicas se están trasladando desde el centro de las ciudades a los suburbios, lo cual provoca un cambio en los patrones unidireccionales antiguos de ir al trabajo. Los altos flujos producidos por la mañana en el centro de la ciudad y por la tarde fuera de la ciudad se han visto alterados debido a que los trabajadores viven en la ciudad y trabajan en los suburbios.

El centro de la ciudad (CBD) ha continuado creciendo hacia arriba en barrios corporativos de rascacielos, que prestan servicios financieros, legales y otros servicios de negocios del sector cuaternario. La tendencia a la concentración económica y social ha desfavorecido viejas áreas del centro de la ciudad aunque parece que se produce una débil fuerza de gentrificación (Harris, C.D., 1997). También se está produciendo en el centro un proceso de remodelación de casas y viejos apartamentos destinados a personas que pueden pagar precios muy elevados tanto por compra como por alquiler de estos edificios.

Este nuevo desarrollo urbano plantea según C.D Harris (1997) la necesidad de un modelo periférico de patrones areales de las áreas metropolitanas que suplemente los modelos de zonas concéntricas, sectorial y el de núcleos múltiples. Un cinturón periférico se desarrolla en torno al área metropolitana fuera del área central de las ciudades. El modelo periférico difiere del modelo de zonas concéntricas en que las pautas y los patrones son definidos no en términos de

distancia al área central sino en sus relaciones con otras partes de la periferia incluidos diversas agrupaciones de actividades económicas, tanto en nuevos desarrollos como en viejos centros recientemente transformados.

La periferia está vinculada siempre mediante una arteria de transporte circular constituida por una carretera de circunvalación o una autopista circular que ofrece una descongestión del tráfico.

Se desarrollan grandes bloques de suelo para población con similares características sociales, económicas y políticas lejos de los problemas internos de la ciudad (congestión, tráfico, crimen, etc.) y próximos a lugares de alto con gran valor desde el punto de vista medioambiental (lagos, colinas, bosques).

También se crean nuevos centros de servicios y para el desarrollo de empleo: centros comerciales, distritos industriales, parques empresariales (frecuentemente con paisajes envolventes), hoteles, buenos transportes, facilidades de reuniones, alquileres de coches, áreas de aparcamientos, etc.

Gran parte de los suburbios, algunos envejecidos, han sido absorbidos por la onda externa de la expansión metropolitana o por los nuevamente creados o desarrollados.

Los residentes de la periferia tienen muchos de sus vínculos en torno a los bordes especialmente en sus sectores particulares y no en la ciudad central. Necesitan el coche para ir a comprar, ir al médico y para otros servicios. Sus hijos van al colegio cercano en autobús. Conducen hacia el lugar de trabajo en torno al borde, incluyendo áreas industriales y parques empresariales. Buscan recrearse en sus clubes, cines, complejos deportivos, etc., pero su periferia no está completamente compuesta por los bordes de la ciudad y forman parte siempre del complejo metropolitano.

Modelos derivados de la teoría de las densidades urbanas.

Los modelos derivados de la teoría de la densidad de ocupación urbana no son en sí mismos modelos de la Ecología Urbana, pero tienen su origen en los datos proporcionados por ésta; por ello, nosotros vamos a incluirlos dentro de esta categoría.

Los modelos clásicos, derivados de la Ecología Urbana, son en mayor parte descripciones cualitativas de la forma de la estructura urbana, pero también se han realizado modelos que describen la ciudad de forma cuantitativa. La mayor parte de las veces las técnicas cuantitativas se aplican al análisis de gradientes. Este método está basado en la variación de las características de la ciudad según aumenta la distancia al centro. El análisis de gradientes se puede aplicar a diferentes características económicas y sociales de la ciudad, pero la densidad urbana es la variable en la cual más ha sido aplicada esta técnica (Johnson, J.H., 1987).

Estos modelos se basan en la distribución de las densidades, la cual es similar en todas las ciudades y varía a medida que nos alejamos del centro. La densidad de ocupación disminuye bajo la forma de una función decreciente de la distancia al centro de la ciudad.

C.Clark (1951, cit. en Bailly, A.S., 1978) elabora un modelo exponencial y llega a la conclusión de que el gradiente de densidad parece seguir una misma función; la disminución de la densidad es una función exponencial negativa de la distancia al centro urbano y se expresa de la siguiente forma.

$$Pd = P_c e^{-gd} \text{ donde}$$

Pd = densidad a una distancia d del centro.

P_c = densidad en el centro

g = la pendiente o gradiente de la curva de disminución de densidad

Esta función, tras sucesivos ajustes, trata de explicar la disminución de la densidad en las ciudades y el potencial de población, dependiendo de parámetros esenciales como la población de la ciudad y la distancia al centro.

Los estudios realizados para intentar verificar esta teoría son múltiples y es imposible mencionar todos; por ello vamos a seleccionar únicamente aquellos que han tenido mas transcendencia o importancia.

R.J.Chorley y P.Haggett (1971) señalan que en la mayor parte de las ciudades estudiadas se verifica esta hipótesis de regularidad (se cumplía en ciudades de países desarrollados, pero no en las de países en vías de desarrollo), pero existen diferencias muy marcadas en la caída de los gradientes para las diferentes ciudades analizadas.

R. Muth (1962, cit. Chorley, R.J., y Haggett, P., 1971) explica esta oscilación introduciendo un mayor número de variables (12 en total) de las cuales solo 4 influían en la pendiente: matriculación de automóviles per capita en el área urbana, proporción de empleo en manufactura en el área urbana y de viviendas en mal estado en la zona central y el tamaño del área urbana. La conclusión de sus estudios fue que las ciudades grandes, con bajo coste de transporte, áreas centrales dilapidadas y centros de empleo dispersos, eran las más compactas.

Otros estudios similares son los realizados por B. Berry en 1963 y por H.H. Winsborough en 1962 (cit en Chorley, R.J., y Haggett, P., (1971)) entre otros, las conclusiones que se derivan de estos estudios son que las ciudades más grandes con industria más antigua, tienen una densidad de población más elevada que otro tipo de ciudades.

W.Alonso (1964) y R Muth (1962) (cit. Chorley, R.J., y.Haggett, P., (1971) R.J.Chorley y P.Haggett (1971).) explican la regularidad del gradiente de densidad por los costes de transporte. La población con menor renta vive cerca del centro para disminuir los costes de transporte, en zonas de gran densidad; la población con una renta más elevada vive fuera de la ciudad, invirtiendo más dinero en transporte, pero en zonas de menor densidad. R.Muth (1962) lo relaciona con la producción de viviendas que tiene una función similar. B. Berry (1964) planteando en tema en el contexto de la Teoría General de Sistemas llega a la conclusión de que se puede predecir bien la distribución de densidades de población en una ciudad, si se conoce el tamaño de población y la edad de la ciudad y la densidad en el centro.

E.B. Newling (1969 cit. en Bailly, A.S., 1978) plantea que el aumento o disminución de la densidad en el centro era una función exponencial cuadrática del tiempo. Llega a la conclusión de que los habitantes se concentran más en el centro urbano del siglo XIX que en la actualidad, debido a que existen actividades comerciales, administrativas, etc. , que obligan a la población a vivir más lejos del centro.

La noción de densidad parecía dejada un poco de lado en los últimos años en el marco de la reflexión urbana, pero parece ponerse de moda otra vez en relación con el futuro de las ciudades y sus problemas agudos (Berroir, S., 1996).

Algunas de las preocupaciones actuales más importantes derivan de los efectos más o menos controlados de la concentración urbana de empleos y actividades, de la saturación de los espacios urbanizados, de su congestión y las tensiones crecientes que provocan la atribución de espacios. Según S. Berroir (1996) se multiplican las interrogaciones sobre la perennidad del modelo urbano concentrado y centralizado y sobre las posibilidades de emergencia de nuevas

formas de territorialidad urbana menos dependientes de la proximidad que de la estructuración de redes.

También son fuente de preocupación la explosión y fragmentación de los espacios urbanos, las desigualdades de las concentraciones urbanas y las regularidades que definen el orden interno de las ciudades. En este sentido, según S. Berroir (1996) el estudio de las densidades urbanas puede contribuir al estudio de las desigualdades de la concentración y descubrir los principios que rigen las regularidades.

Los temas estudiados a través de análisis de las densidades urbanas son entre otros, el escalonamiento y fragmentación de la ciudad (trabajos de Parr (1985), Nairn y O' Neil (1988), Batty y Kim (1992) cit. S..Berroir 1996), la organización polinuclear del espacio urbano (trabajos de Waddel, Berry y Hosch (1993), Stern (1993), Gordon, Richardson, Wong (1986), Griffith (1981), Getis (1985) cit. S..Berroir 1996), la especialización y organización sectorial dentro de la ciudad, (trabajos de Kahimbaara (1986), Xio Ping Zheng (1991), Bussiere (1975), De Keersmaecker (1990) cit. S..Berroir 1996), adaptación de las formas urbanas al crecimiento (trabajos de Newling (1969), Casetti (1973), Bussiere (1975), Pumain (1989) cit. S.Berroir 1996), clasificación de ciudades en etapas de crecimiento (trabajos de Parr y Jone (1983) cit. Berroir, S., 1996), etc.

La noción de densidad es muy integradora de los componentes de lo urbano porque a través de ella se pueden encontrar a la vez, las principales líneas de fuerza de la estructuración del espacio urbano y los signos de cambio que la remodelan continuamente. Las densidades urbanas combinadas con las densidades residenciales y las de empleo deben favorecer la identificación de ciertos signos de reinversión de la territorialidad urbana (Berroir, S., 1996).

Las principales críticas derivadas de los modelos de las densidades urbanas estriban en carecer de valor explicativo. Son buenas para realizar una descripción de la realidad pero nada más (Bailly, A.S., 1978). Sin embargo, R. Bussiere (1972, cit. en Bailly, A.S., 1978) logró demostrar la utilidad del modelo para comprender la propagación centrífuga del crecimiento. Este autor maximiza la entropía del sistema urbano representando la repartición de localizaciones residenciales, que es, entre las múltiples distribuciones posibles, aquella cuya probabilidad es máxima. Con ello se tiene en cuenta la interacción entre los sectores urbanos. El aplicó este modelo a Burdeos y París.

Aún considerando los avances que supone el modelo de R. Bussiere, A.S. Bailly (1978) resalta la necesidad de incluir datos económicos y sociológicos que faciliten la explicación de la distribución de la densidad. En este mismo sentido, S. Berroir (1996) destaca que a pesar de la importancia de las densidades urbanas, ésta debe combinarse con otras variables para que resulte más eficaz.

1.3.2.2. Modelos Económicos

Los modelos económicos parten de las teorías de la economía espacial de Von Thünen (1826) y de W. Christaller (1933) basados en el estudio de la localización de la actividad agraria, de las jerarquías urbanas y la distribución de los lugares centrales. Los fundamentos de esta teoría han dado lugar a muchos trabajos: teorías de base económica, técnica de las tablas input output desarrollada por W. Leontief en 1953, las contabilidades territoriales, o la adaptación de los lugares centrales a las nuevas condiciones económicas, que han llevado a los geógrafos a profundizar en la noción de flujo. Estos trabajos no van

a ser tratados en este estudio porque no constituyen en si mismos modelos de estructura urbana, pero nos parecía adecuado centrarlos dentro de los modelos económicos del espacio urbano.

Los modelos de carácter económico se basan en intentar explicar el consumo de suelo urbano a través de los precios, destacando la importancia que en ello tiene factores como la localización del suelo, la renta económica del mismo y los costes de transporte. Mediante estos factores se explica la competencia existente por el espacio por parte de actividades residenciales, comerciales, industriales y de servicios, las cuales intentan obtener la mayor parte de suelo urbano, teniendo en cuenta siempre las limitaciones económicas de cada uno. El resultado es intentar lograr un equilibrio estático que explique las formas de usos del suelo, su renta del mismo y las densidades de población (Estébanez, J., 1988).

Alguno de los conceptos que aparecen en estos modelos de carácter económicos son los de economía de aglomeración y congestión, entendiendo por economía de aglomeración el menor coste de producción, derivado del hecho de que el proceso productivo se realiza en un sólo emplazamiento (Estébanez, J., 1988). Este autor diferencia entre economías de aglomeración derivadas de la localización de la actividad productiva, es decir, las que surgen de la concentración de actividades similares en una misma localización y las economías de aglomeración derivadas de la urbanización, es decir, las que derivan de la yuxtaposición de actividades diferentes.

Según J. Estébanez (1988), todos los modelos económicos de estructura urbana se basan en los siguientes supuestos:

- Emplazamiento de la ciudad en un espacio isotrópico.
- El centro de la ciudad (C.B.D.) se localiza en el centro de ese espacio isotrópico, en el lugar más accesible.

- Los hombres que habitan la ciudad responden al modelo de “homo-oeconomicus”, es decir, su comportamiento se orienta a lograr el máximo beneficio, utilidad y satisfacción.
- Los agentes que intervienen en el espacio urbano, evalúan los precios a los que se ofrece, una determinada cantidad de espacio, en diferentes localizaciones, que tenga determinadas características, valorando también los costes de transporte y las consecuencias derivadas de la toma de decisiones de otros agentes.
- La producción de bienes y servicios se concentra en el centro porque es el lugar más competitivo.
- Los precios de los factores productivos, salvo el suelo, son uniformes en la ciudad.
- La distribución en el espacio de bienes y servicios públicos, excepto el transporte, es uniforme en la ciudad.
- El sistema de transporte es uniforme en toda la ciudad y su coste es directamente proporcional a la distancia.

Han sido muchos los autores que han realizados estudios basándose en teorías económicas. Estos estudios varían dependiendo de los factores o variables utilizados para explicar la estructura resultante de los usos de suelo urbano. Los factores más destacados son: la renta, los transporte, las actividades residenciales.

El primer estudio fue realizado por R. M. Hurd en 1903 es anterior por tanto a los trabajos de Ecología Humana realizados por la escuela de Chicago. Este autor basa su estudio en la importancia que tiene el mercado del suelo en la organización del espacio urbano, resumiendo su argumentación en la siguiente frase: *“Puesto que el valor del suelo depende de la renta económica, y ésta de la localización, y la localización de la conveniencia, y ésta de la proximidad,*

podemos eliminar las partes intermedias del razonamiento y afirmar que el valor del suelo depende de la proximidad” (Hurd, R.M., 1903 cit. Carter, H., 1987). Es decir se relaciona los precios del suelo urbano con la accesibilidad y por tanto con la proximidad al centro y a los principales ejes que a él conducen.

En conclusión para R. M. Hurd el centro es el lugar más codiciado para el desarrollo de actividades comerciales, de servicios, industriales y residenciales, debido a que todas estas actividades se benefician de las buenas condiciones de accesibilidad, minimizando con ello los costes de transporte. La consecuencia de todo esto es la gran disputa y competencia existente por este espacio central, en el que los precios son los más elevados. Los potenciales usuarios del centro, realizarán una valoración económica de sus posibilidades para instalarse en el centro y del beneficio que dicha instalación les proporciona y actuarán en consecuencia. La utilidad de determinado espacio se va a medir por la renta que cada actividad está dispuesta a pagar y cuanto mayor sea el beneficio obtenido, mayor será la renta a pagar. Cada tipo de usuario tendrá una curva de renta distinta que manifiesta los precios que podrá pagar por su localización a determinada distancia del centro.

Los factores que determinan la renta a pagar por la utilización de un espacio son diversos, pero la localización es el factor más determinante (Chorley, R.J. y Haggett, P., 1971).

La competencia por los terrenos lleva a una minimización de la fricción total que está en función de la accesibilidad y por tanto de los costes de transporte. Esta idea fue desarrollada posteriormente por R. M. Haig (1926 cit. Bailly, A.S., 1978) quien introduce el concepto de coste de “*fricción del espacio*”, que es la suma de la renta más los gastos del transporte. La función del transporte es minimizar la fricción espacial. Por tanto, la renta es el pago que debe hacerse por el ahorro de los costes de transporte, variando la renta y los costes de transporte

en función del emplazamiento. Por consiguiente, existe una interdependencia entre renta, costes de transporte y localización.

Los terrenos urbanos están ocupados por las actividades capaces de pagar la máxima renta por su uso, y por aquellas que mejor utilicen las ventajas ofrecidas por el transporte en dichos terrenos. Las rentas (en este contexto) pueden representarse por valores del suelo, reflejo de la accesibilidad intraurbana. Los valores de suelo más altos estarán asociados a localizaciones de gran accesibilidad y viceversa. Esta teoría fue desarrollada en primer término por R. V. Ratcliff en 1949. Este autor basa su teoría en que la utilización del suelo viene determinada por los grados de eficiencia de los diversos usos en las distintas localizaciones. La eficiencia en el uso se mide por la capacidad de pago de renta, o sea la capacidad de aprovechamiento del suelo de que se trate, para extraer una utilidad económica del emplazamiento en cuestión. El uso o aprovechamiento que sea capaz de tener mayor beneficio de un emplazamiento dado será el posterior con más posibilidades de conseguirlo (Ratcliff, V., 1949. cit Carter, H., 1987).

R. Ely y G. Wehrwein (1928 cit, Bailly, A.S., 1978) desarrollan una teoría similar a la de Burgess pero con un enfoque diferente, económico en la primera, sociológico en la segunda, basada en que ciertas actividades que no reportan suficientes beneficios se ven obligadas a desplazarse del centro y ceder su lugar a otras que tienen mayores beneficios. Se origina una sucesión de actividades (de invasiones) que tienen lugar como consecuencia del crecimiento de la ciudad.

La estructura de usos de suelo no es igual para las diferentes ciudades, pero existen tres factores que se mantienen constantes: en primer lugar los valores del suelo son máximos en el centro de la ciudad y descienden hacia la periferia; en segundo lugar los valores del suelo son más altos a lo largo de las principales vías de comunicación; y por último se producen máximos locales de valores del suelo en las intersecciones de las principales vías de comunicación (Chorley, R.J.

y Hagget, P., 1971). Según estos autores la accesibilidad va a ser el factor más determinante en la configuración de los valores del suelo y por tanto en la estructura urbana de los usos del suelo. La máxima accesibilidad se da: en el centro de la ciudad por factores históricos, a lo largo de las vías radiales y de circunvalación y en las intersecciones entre las vías. Estos autores señalan que debido a la existencia de áreas mejor comunicadas que otras dentro del espacio urbano, los valores del suelo no disminuirán uniformemente desde el centro hacia la periferia en todas las direcciones, originándose una variación sectorial.

Como señalábamos anteriormente la accesibilidad tendrá valores diferentes para las diferentes actividades porque no son iguales las necesidades para la actividad comercial, que para la industrial ni que para la urbana.

Las actividades residenciales es otra variable utilizada para explicar la estructura urbana. R. Muth (1961, cit. Bailly, A.S., 1978) estudió la estructura espacial del mercado residencial urbano (densidad y precio del suelo) y pudo verificar la correlación existente entre gradiente de densidad y el número de empleos centralizados. Este autor basó su teoría en la hipótesis de que el empleo y el comercio estaban localizados en el centro de la ciudad. La adquisición de una vivienda será más elevada en el centro porque es en este centro donde se reducen los gastos de transporte empleados en los desplazamientos al trabajo o a comprar. Este autor elaboró unas curvas de inferencia para comprobar como el precio de la vivienda disminuye al alejarse del centro. El resultado final de su teoría fue que para personas de ingresos y gustos semejantes, el precio de la vivienda, disminuía desde el centro hacia la periferia, lo que facilitaba la adquisición de viviendas mayores en la periferia que en el centro. El centro y sus proximidades se encontraban ocupados por inmuebles colectivos; según aumentaba la distancia al centro aparecían dúplex o chalets adosados y en las afueras de la ciudad, se situaban chalets individuales que ocupaban amplias parcelas. Aparece la noción de gradiente de densidad; el espacio urbano se ordena según el deseo de todos de

realizar una asignación óptima de recursos y en función de la accesibilidad al centro de la ciudad (R. Muth ,1961, cit. Bailly, A.S., 1978).

W.Alonso (1964, cit. Carter, H., 1987) elaboró un modelo para explicar la diferenciación del espacio residencial basándose en dos nuevas variables: la cantidad de suelo que desea comprar una persona y la parte o proporción del total de ingresos, que se dedicará al pago de los terrenos, y los costes de transporte por un lado, y al resto de los bienes y servicios necesarios, incluido el ahorro, por otro. Se trata de encontrar una situación de equilibrio económico para una familia. A. S. Bailly (1978) denominó a este modelo de equilibrio espacial. El resultado fue que las familias con menor poder adquisitivo con poco dinero para los desplazamientos, vivían cerca del centro, aunque los alquileres que pagaban suponían una parte muy reducida del coste de los solares, muy caros en esta zona. Por el contrario, las familias con mayores ingresos podían vivir en la periferia donde consumen amplias parcelas de terreno de bajo precio; pero para desplazarse al centro se ven obligados a invertir una mayor cantidad de dinero (Alonso, W., 1964 cit. Bailly, A.S., 1978).

R.Mayer (1965, cit. Estébanez, J., 1988), tomando como referencia las ideas de W. Alonso, formuló un modelo sobre la formación de los precios del suelo. Este autor se basó en el supuesto de que el valor del suelo refleja a la vez el valor del tiempo de transporte y el precio del suelo. En el valor del tiempo incluyó la distancia y la incomodidad del desplazamiento y tuvo en cuenta, no únicamente el tiempo de desplazamiento al trabajo, sino todos los desplazamientos familiares fueran por el motivo que fueran. R. Mayer. También incluyó el factor escasez del suelo, introduciendo el valor capitalizado de beneficios futuros en el suelo y el papel del aumento de la superficie urbanizada en los valores del suelo de la ciudad. Este autor señaló que los factores responsables de la formación de los precios del suelo son: precio de los valores del suelo agrícola, coste de los equipamientos, renta de anticipación y escasez (capitalización de renta adicional

debido al crecimiento urbano, ó debido a la escasez de suelo edificable) y distancia y duración del trayecto a los centros de la ciudad (Bailly, S.A., 1978).

Según J. Estébanez (1988) los precios del suelo dependen de la relación entre el proceso continuo de crecimiento urbano, los poderes públicos que puedan actuar aumentando o disminuyendo los precios, a través de medidas tendentes a aumentar la oferta del suelo y mediante la asignación planificada de suelo para diferentes fines.

Una variable esencial en los modelos económicos de estructura urbana son los gastos en materia de transporte; estos gastos son los que determinan las rentas, las densidades y las utilizaciones del suelo, y por tanto, toda la organización interna de la ciudad.

L.Wingo (1972) elaboró un modelo, basándose en los costes de las migraciones pendulares. Sus hipótesis permitieron comprobar la influencia de los ejes de transporte en los valores del suelo, las densidades y la dimensión de la ciudad. Este autor abordó mediante el análisis de los mecanismos de transporte, el problema del equilibrio territorial en el medio urbano. La adquisición de la vivienda depende de coste de desplazamiento y la renta individual y los gastos de transporte aumentan cuando nos alejamos del centro.

Según H.S. Perloff (1972, cit. Wingo, L., 1972), si se es capaz de incrementar la capacidad de predecir la demanda de suelo urbano por parte del sector familiar, aumentará también la capacidad de predecir las necesidades de suelo y los modelos que surgen de crecimiento y de cambio urbanos. L.Wingo (1972) identificó como consideraciones fundamentales para definir la cantidad, la distribución y el valor del suelo necesario para usos residenciales, las siguientes: 1) el modelo espacial de los centros de empleo 2) la organización y la tecnología

del transporte 3) la valoración marginal del espacio residencial por parte de las familias y 4) la valoración marginal del ocio por parte del trabajador.

El gran valor del modelo de L. Wingo residió en que colocó en vanguardia elementos críticos (como el valor que las personas conceden al tiempo y al espacio en relación con su casa y la tecnología del transporte) los cuales se habían menospreciado al tomar las decisiones referentes al uso del suelo y la política del transporte. Este autor destacó el valor de estos elementos, al demostrar cómo se hallaban relacionados con otros que constituían ya un foco de atención, como el coste del suelo y el poder de atracción del sector central de negocios de la ciudad (Perloff, H.S., cit.1972, Wingo, L., 1972).

Los modelos económicos, basados en la economía neoclásica, al igual que los modelos derivados de la ecología factorial, han sido objeto de numerosas críticas. Vamos a intentar resumir los principales puntos en los que se han basado estas críticas.

Los modelos económicos son aparentemente bastante complejos desde el punto de vista matemático y económico. Pero tras esta complejidad hay conceptos bastante elementales. En primer lugar, la accesibilidad se mide en función de la distancia y el tiempo de desplazamiento necesario para llegar a una sola localización central, pero no se tienen en cuenta las distancias y el tiempo recorrido para acceder a otros centros importantes. En segundo lugar, los modelos económicos no consideran las grandes diferencias existentes entre los diferentes tipos de poblamiento (se supone que el hábitat es un bien homogéneo). Por último, se ignoran las ventajas derivadas del emplazamiento -panorama, aire, ruido, atractivo del vecindario- (Nelson, R.H., 1972, cit. Bailly, A.S., 1978). Este autor, demuestra que el hombre a la hora de elegir su residencia, tiene en cuenta la calidad del medio, el espacio disponible, la existencia de áreas de esparcimiento, la presencia de una bella panorámica o de inmuebles históricos y

el ambiente del sector. Estas ventajas y no la accesibilidad son las que determinan el lugar de residencia.

Los modelos económicos asumen que los habitantes de la ciudad se comportan según el modelo del *homo oeconomicus*, es decir, que recorren las distancias más cortas, que conocen íntegramente todas las características y condiciones del mercado y que eligen libremente el lugar de residencia entre diferentes localizaciones. Pero los habitantes de la ciudad tienen unos hábitos, unas costumbres e información complementaria que les condicionan a la hora de adquirir una vivienda. La elección de la vivienda por tanto, no se realiza libremente, porque sólo una pequeña proporción, está libre. Por otra parte, la influencia de los promotores, los planificadores, el poder central y local, hacen que el mercado no funcione libremente y que no exista un único mercado sino varios que funcionan lejos de la supuesta perfección (Estébanez, J., 1988).

Muchos modelos asumen que un aumento en la renta familiar lleva implícito un aumento en el tamaño de la vivienda. Pero pueden existir otros factores a tener en cuenta y valorarse el acceso a factores externos positivos, o la lejanía a factores externos negativos (focos de contaminación, grupos sociales no gratos). Estos factores no se incluyen en los modelos económicos y son de gran importancia en la relación del medio residencial urbano (Estébanez, J., 1988).

T.H. Anderson (1962, cit Bailly, A.S., 1978) elaboró una lista de variables que podían explicar la distribución residencial. Según este autor la población urbana se reagrupaba con arreglo a: los lugares centrales y los ejes de transporte, la red de las relaciones sociales, los valores comunes mantenidos por los miembros de la comunidad y el poder (político y financiero) de los subgrupos, ocupando los subgrupos más poderosos los sectores más favorables. Según este autor, únicamente la primera de estas variables se había tenido en cuenta en modelos económicos del espacio urbano.

Casi todos los modelos económicos clásicos parten del supuesto de que las ciudades tienen un único centro, hacia el cual se producen todos los desplazamientos. Esta afirmación es válida para ciudades antiguas, pero no para la mayor parte de las ciudades nuevas (al menos en los países desarrollados). Algunos autores realizan encuestas acerca de los desplazamientos al centro por razones que no sean laborales, llegando a la conclusión de que muchos habitantes del extrarradio no utilizan el centro (Zikmund, J., 1971 cit. Bailly, A.S., 1978). La fragmentación del espacio urbano central es innegable; existen una gran cantidad de centros que responden a las diferentes necesidades de los habitantes. Bailly, A.S., (1978) señala que una teoría completa del espacio urbano debería poder suscitar como hipótesis de base la existencia de una jerarquía de centros.

La teoría y la realidad urbana son diferentes. Esta es otra de las críticas a los modelos económicos, puesta de manifiesto por A.S. Bailly (1978). La teoría indica que las poblaciones se trasladan a la periferia para poder consumir más terreno de menor precio unitario y gastar más en desplazamientos; sin embargo en la realidad puede observarse que en la periferia y aparecen dúplex e inmuebles colectivos.

Si el mercado inmobiliario urbano se analiza a nivel microeconómico y no macroeconómico, las decisiones individuales no obedecen a los mismos principios. M. Stegman (1969, cit. Bailly, A.S., 1978) elabora una encuesta sobre las mudanzas, llegando a los siguientes resultados:

- Las familias que se trasladaban al extrarradio estaban más interesadas por la calidad del barrio que por las facilidades de acceso.
- Muchos habitantes del centro y del extrarradio utilizan el automóvil en sus desplazamientos al trabajo (las teorías partían de la utilización del transporte colectivo y economizar costes de transporte).

- Los residentes del centro piensan al igual que los del extrarradio que la calidad del barrio refleja un estadio en la vida social de una familia.
- Las carreteras rápidas en dirección al centro y la descentralización de los lugares de empleo y de comercio hacen más accesibles a los habitantes los servicios y el resto de las actividades.

Esta encuesta indica que en los modelos económicos hay que tener en consideración factores como el comportamiento humano y los cambios sociales y tecnológicos, y no únicamente la accesibilidad y la renta económica.

Otra de las críticas realizadas a los modelos económicos es su carácter ahistórico. Los modelos económicos son casos especiales que únicamente pueden aplicarse en condiciones muy restringidas cuando las rentas monopolistas tienen poca importancia, cuando la noción del tiempo y espacio son de escaso interés y cuando la propiedad privada del suelo es poco activa (Harvey, D., cit. Estébanez, J., 1988).

Los modelos económicos son un corte espacio-temporal del proceso urbano en un momento determinado. La ciudad está en continuo dinamismo, cambia constantemente, bien creciendo hacia la periferia o reorganizando internamente los usos del suelo. La utilización masiva del automóvil y la descentralización de la población han hecho que disminuya la importancia que tenía los efectos de distancia al centro y la influencia de las rutas con sistemas rápidos de transporte y han producido un aumento de los valores a lo largo de las nuevas vías radiales y de circunvalación (Chorley, R.J. y Haggett, P 1971).

Paralelamente a la nueva organización de usos del suelo se produce una extensión del casco urbano hacia la periferia. El crecimiento de la ciudad se produce primero en torno a las rutas radiales y posteriormente se extiende a los sectores situados entre ellas. Se producen ritmos de crecimiento sobre sectores

con buena accesibilidad al centro de la ciudad y esta expansión no se producía en todos los frentes, (modelo zonas concéntricas) sino en determinados sectores y con mayor retraso en las zonas intersticiales, siendo mayor a medida que se alejan del centro (Chorley, R.J. y Haggett, P 1971).

Otra consecuencia de la expansión del área urbana es que la densidad va disminuyendo en el centro de la ciudad a medida que la población se va trasladando a los incipientes núcleos periféricos. Estos cambios afectan también a la estructura comercial, desarrollándose grandes centros comerciales en la periferia y a su vez produciéndose una disminución y deterioro del comercio en el centro. Esto lo demuestran estudios realizados para ciudades de Estados Unidos ya en la primera mitad de la década de los 60 (Chorley, R.J. y Haggett, P 1971)

A.S. Bailly (1978) pone de manifiesto la diferencia existente entre la estructura interna real de la ciudad y los resultados proporcionados por los modelos. Según este autor estas diferencias, provienen de las hipótesis restrictivas enunciadas a la hora de elaborar esquemas teóricos. Los resultados de los modelos serían mucho más realistas, si se tuviera en cuenta que los terrenos no son homogéneos, la topografía no es uniforme, los costes de transporte no son iguales en todas las direcciones y que la ciudad puede tener varios centros. A medida que se profundiza en la organización interna del medio urbano, los elementos que hay que integrar se vuelven numerosos y más complejos. Las variables difieren de acuerdo con los sectores y sus interrelaciones no son las mismas en todos los barrios. Este autor señala que los modelos se establecen teniendo en cuenta casos medios (no se tienen en cuenta singularidades) por el contrario, si se estudiaran todos los casos locales, el modelo perdería la eficacia explicativa. Por ello *“Los teóricos, se ven pues obligados a contentarse con aproximaciones, y reconocen que no es posible elaborar un modelo general de la ciudad. Los modelos,*

modelos parciales que son, explican, cada uno por su cuenta, algunas facetas de los mecanismos urbanos”.(Bailly, S.A., 1978).

Por ello todas las teorías y modelos de uso de suelo son accidentales; cuando se eliminan los mecanismos y supuestos en los que se basa el modelo, no se cumple el modelo. No obstante, estos modelos económicos neoclásicos han proporcionado un esquema general de estructura urbana más bien a escala descriptiva que explicativa y han sido el acicate de otras interpretaciones alternativas de morfología y estructura de la ciudad (Estébanez, J., 1988).

1.3.2.3. Modelos Sociales

Los modelos económicos, basados fundamentalmente en la maximización del beneficio, conducen a resultados teóricos y a proyecciones que no siempre responden a la realidad observada.

Hasta los años sesenta-setenta, para estudiar la estructura urbana, se tenían en cuenta únicamente factores económicos y técnicos. A partir de estas fechas, surge una cooperación interdisciplinaria y se advierte que la planificación urbana, no afecta solo al entorno, sino que contribuye, además, a modificar la sociedad. Geógrafos y urbanistas, ingenieros y arquitectos han descubierto el papel que las Ciencias Sociales (Sociología, Psicología, etc.) pueden desempeñar. Ya no se trata según A.S. Bailly (1978) de estudiar solamente los fenómenos de distribución económica, sino también la percepción y el comportamiento de las personas en ese medio inestable que es la ciudad. El desarrollo de modelos urbanos superiores sólo puede resultar de un trabajo de grupo (economistas, geógrafos, psicólogos sociales, sociólogos, ingenieros y analistas) que combine

la experiencia pasada con las intuiciones de las diversas disciplinas (Hall, P. 1967 cit. Bailly, A. S., 1978).

La complejidad del organismo humano y los diferentes comportamientos hacen de éste un enfoque muy delicado y para englobar la mayoría de las variables hay que recurrir a técnicas elaboradas, tales como ciencias probabilísticas, el análisis factorial y los métodos de las ciencias afines.

Más allá del análisis económico, la comprensión de las estructuras urbanas viene condicionada por el estudio de los sistemas sociales intraurbanos y de las divisiones de la sociedad. Esto plantea numerosos problemas y por ello muchos investigadores han recurrido a diversas ramas de las ciencias humanas y entre ellas el análisis sistémico y a las teorías de la organización, de la comunicación y del comportamiento.

En este apartado vamos a integrar los enfoques y no tanto los modelos (porque muchos no plantean modelos en sí mismos, sino formas de estudiar la ciudad), derivados de las aportaciones de la Psicología, Sociología y los geógrafos radicales. La mayor parte de estos enfoques, se centran en la explicación de estructura interna de la ciudad; por este motivo únicamente vamos a mencionarlos pero no vamos a profundizar en ellos.

Enfoque Radical: Marxista y procesos sociales.

La sociología urbana de M. Castells (1974) es determinante en el desarrollo de este enfoque. Según este autor, el urbanismo no puede ser analizado como una entidad con contenido propio, porque es una manifestación de las sociedades

capitalistas avanzadas. M. Castells critica a la escuela de Chicago porque según él ya no importa la organización de la vida social de un barrio en relación con su cultura, lo que importa es la política de la vivienda y la dotación de infraestructuras en función de las relaciones de fuerza establecidas entre grupos sociales estructuralmente determinados por sus intereses. Hace falta disponer de nuevas concepciones y teorías para estudiar problemas de conflicto y procesos de decisión que son los que determinan la organización urbana en conjunto (Castells, M., 1978 cit. Carter, H., 1987).

1. Enfoque Marxista.

Este enfoque se fundamenta en el materialismo histórico, basado en que la sociedad humana forma parte de la naturaleza. Su objetivo de estudio, es entender los mecanismos del desarrollo de la sociedad. La producción material es la base de la vida social, ya que al producir bienes materiales, los hombres producen y reproducen sus propias relaciones sociales (Estébanez, J., 1988).

Los marxistas conciben la ciudad como la materialización de las ideas urbanísticas, entendiendo el urbanismo como un aspecto más de la formación socioeconómica. Concretando un poco más se podría decir que el urbanismo refleja el modo de producción dominante en una formación social históricamente determinada y que la forma urbanística dominante determinará una cierta uniformidad en la forma de la ciudad construida (Estébanez, J., 1988).

La Geografía social de la ciudad beneficia la estabilidad de las condiciones del modo de producción capitalista y así *aparece “una fuerza laboral dedicada a los servicios, trabajadores no manuales, reproducida en un barrio de trabajadores*

no manuales, y una fuerza laboral de trabajadores manuales, reproducida en un barrio de trabajadores manuales” (Harvey, D., 1973, cit. J. Estébanez, 1988).

Desde el enfoque marxista se entiende que la ciudad es fuente de conflictos debido a que es en ella donde se produce gran parte de las contradicciones de la sociedad capitalista. La ciudad cambia continuamente para favorecer la acumulación de beneficio y esto tiene como consecuencia un aumento de los conflictos. Las actividades residenciales del centro se sustituyen por actividades comerciales y administrativas, siendo el resultado inmediato el abandono y deterioro del centro y la dispersión ,por toda la ciudad de su población.

Se producen enfrentamientos entre grandes capitalistas y pequeños empresarios a la hora de tomar decisiones referentes a la construcción de nuevas residencias, carreteras más rápidas, etc., todo ello derivado de la continua remodelación y desaparición de edificios en el centro de las ciudades.

W. Bunge (1975 cit. .Estébanez, J., 1988) estudia las consecuencias en el espacio social urbano de los conflictos existentes en la ciudad en Detroit. Este autor, diferencia en la organización socioeconómica de Detroit, tres partes claramente interrelacionadas: La ciudad de la muerte, la ciudad de la necesidad y la ciudad de lo superfluo. Las desigualdades en la distribución de la renta constituyen la base de los conflictos entre los tres subtipos de ciudades. Entre ellas existen flujos monetarios muy beneficiosos para la ciudad de lo superfluo, y negativo para la ciudad de la muerte y la ciudad de la necesidad, siendo en la primera mucho más grave.

La ciudad de lo superfluo se corresponde con la clase alta; tiene las mejores viviendas, en un entorno de gran calidad. La ciudad de la necesidad esta entre la ciudad de la muerte y la ciudad de lo superfluo; se corresponde con la clase media americana. Esta ciudad de la necesidad, ejerce de barrera amortiguadora

entre las otras dos ciudades, protegiéndose además con otros componentes de la morfología urbana como campos de golf, grandes parques, cementerios, polígonos industriales o grandes vías de circulación que operan como barreras de separación muy efectivas. La ciudad de la muerte es donde se producen delitos, incendios, revueltas, equipamientos deficitarios, alta tasa de mortalidad infantil, es decir similar a las características de las ciudades del tercer mundo (Bunge, W., 1975 cit. Estébanez, J., 1988).

2. Enfoque de Procesos sociales.

Según J.Estébanez (1988) los modelos derivados de la Ecología Humana, el enfoque economicista o el marxista , solo explican parcialmente el espacio urbano, debido a que utilizan un único factor para explicarlo.

En la sociedad actual, existen procesos sociales, culturales y económicos de carácter universal. La combinación de estos procesos, genera formas y estructuras urbanas concretas y únicas, porque únicas son también las posibles combinaciones de estos procesos. Por esta razón, hay autores entre ellos J. Estébanez (1988) que piensan que no se puede hablar de leyes o principios generales de forma y estructura urbana, sino que existen procesos y estos son los que deben estudiarse.

Es necesario estudiar la organización de la sociedad, para explicar las diferencias existentes en el espacio urbano, porque gran parte de las causas, consecuencias y manifestaciones geográficas existentes actualmente, son el resultado de la forma y modos de estructurarse la ciudad. Los grupos sociales son la causa de la diferenciación del espacio edificado en la ciudad y estos grupos sociales están originados por procesos sociales.

Según este enfoque, los factores que inciden en la diferenciación urbana son: la clase, el ciclo, estilo y fase de vida, la movilidad y las características culturales de la población.

Uno de los factores de diferenciación social y por tanto de diferenciación residencial en la ciudad, es el estatus socioeconómico muy relacionado con el sistema social, basado en la división en clases (grupos socioeconómicos) (Estébanez, J., 1988).

La vivienda es un símbolo de estatus socioeconómico en la sociedad urbana actual, lo cual genera la aparición en la ciudad de áreas residenciales semejantes, ocupadas por grupos sociales similares; es decir, se produce una estratificación social que a su vez origina una estratificación espacial.

Otros factores que también determinan la diferenciación residencial en la ciudad, son el estatus familiar, el ciclo y el estilo de vida. La industrialización hace desaparecer los modelos familiares tradicionales (trabajo y producción fuera del hogar, incorporación de la mujer al mundo laboral, etc.) y el modo de vida que se adopte influirá en la valoración residencial de la ciudad. Por otro lado, las necesidades y prioridades de vivienda, van a cambiar, dependiendo del ciclo familiar en el que se encuentre una pareja o un individuo. La consecuencia de todo esto es que el centro de la ciudad, con alta densidad de edificación, está ocupado por profesionales y parejas jóvenes. En la periferia predominan casas nuevas con baja densidad de edificación que están ocupadas por familias jóvenes con niños y entre ambas zonas se encuentran familias jóvenes, que aspiran a una vivienda en la periferia pero no tienen suficientes ingresos. Este esquema según J.Estébanez (1988) no se adapta a las ciudades del tercer mundo o a las pequeñas ciudades de Europa Occidental adaptándose mejor a las características de la sociedad americana.

Otro factor también básico para entender la diferenciación social y por tanto la diferenciación residencial urbana es la inmigración. Es importante tener en cuenta el origen de los grupos de inmigrantes, porque de ello depende, los conflictos sociales que puedan darse en la ciudad y por tanto la segregación espacial existente en la misma.

“El espacio es una dimensión social básica, puesto que los procesos de diferenciación social se materializan en el espacio, en el espacio se reflejan todos estos mecanismos y el espacio favorece la diferenciación social” (Estébanez, J., 1988).

Las ciudades se desarrollan en un marco natural que es percibido según unos determinados valores culturales. Toda ciudad tiene una historia, con determinadas áreas que poseen un gran valor simbólico y afectivo para sus habitantes. Por otro lado, las actividades desarrolladas en la ciudad condicionan en cada momento unos servicios y equipamientos necesarios para llevar a cabo estas funciones. Estos factores originan unos efectos que se valoran más o menos positivamente y que han sido denominados como externalidades por el geógrafo Smith (1980 cit. Estébanez, J., 1988). Estas externalidades positivas (originan bienestar) o negativas (producen incomodidades, insatisfacciones, costos) son valoradas de forma diferente por los distintos grupos sociales que habitan la ciudad e influyen en la toma de decisiones a la hora de comprar una vivienda. Los grupos de rentas superiores serán por tanto, los que puedan elegir las áreas más accesibles a las externalidades positivas y al contrario, los grupos de rentas inferiores los que tengan menos posibilidades y habiten en áreas próximas a externalidades negativas.

En consecuencia según J. Estébanez (1988) la diferenciación del espacio residencial se explica por los procesos de diferenciación social, debido a que los

grupos que se individualizan tienen distinta capacidad de elección y de asignación en el espacio urbano de las externalidades positivas y negativas.

Enfoque basado en sistemas de actividad y usos del suelo.

H. Carter (1987) adopta otro enfoque de estudio de la estructura de las ciudades, aunque según él no presente modelo alguno; esta nueva forma de estudiar la ciudad se realiza a través de sistemas de actividad. Los usos del suelo, se entienden como el resultado de un número muy grande de sistemas de actividad independientes, dotado cada uno de ellos de características peculiares y con capacidad para relacionar entre sí en el contexto de un conjunto dado de estructuras que son las que integran la ciudad real.

Un sistema de actividad es entendido como “ *las pautas de comportamiento de individuos, instituciones y empresas que se desenvuelven en patrones espaciales*” (Chapin, F.S., 1965, cit. Carter, H., 1987). Estas pautas de comportamiento pueden ser interpretadas como constitutivas de sistemas de actividad. J. Rannells (1956, cit. Carter, H., 1987) clasifica estas actividades en tres grupos:

1. Actividades rutinarias. Pautas ordinarias y comunes del movimiento del individuo por ejemplo ir de compras.
2. Actividades institucionales. Aquellas que están concentradas en determinados puntos por obra de instituciones por ejemplo un teatro.
3. Organización de procesos. Es la situación más compleja porque se dan toda una serie de relaciones entrecruzadas de pautas de comportamiento por ejemplo el “sistema de actividad” de un banco que debido a las características de su propio negocio está compuesto por una amplia gama de vínculos y enlaces diferentes pero asociados entre sí. Los sistemas de actividad.

Normalmente unos establecimientos aparecen asociados a otros por una serie de relaciones siendo menos probable que existan establecimientos aislados. El resultado es un elemento de uso del suelo que puede verse como el producto de vinculaciones complejas creadas por sistemas de actividad de múltiples componentes (Carter, H., 1987).

Este enfoque en lugar de generalizar intenta estudiar la ciudad al “microdetalle” Por ello es una forma diferente de analizar la ciudad, primero porque mantiene contacto con la realidad concreta y segundo porque tienen en cuenta todas las relaciones que configuran la estructura urbana. (Carter, H., 1987).

Enfoque derivado de las Teorías de la percepción

Los habitantes de las ciudades tienen imágenes limitadas y subjetivas, que repercuten directamente en su comportamiento. Por ello son importantes las aportaciones de la psicología al estudio de la ciudad, debido a que incorporan un nuevo enfoque en el marco de la Geografía de la Percepción y del Comportamiento.

Los modelos económicos y los modelos derivados de la Ecología Humana se limitaban a la simple descripción de la realidad visible, aunque la descripción es necesaria porque solo a través de ella se pueden organizar los elementos que constituyen el paisaje (Bailly, A.S., 1978). Según este autor es difícil definir el concepto de paisaje, pero es el resultado de la percepción ordenada de los elementos que integran el espacio urbano. Por tanto, el paisaje surge de la percepción de un todo (Naturaleza + medio humano = paisaje).

La percepción, empezó a ser estudiada a finales de los 50 por los psicólogos. W. Kirk (1963, cit. Bailly, A.S., 1978), intentó incluir en un contexto geográfico las investigaciones realizadas por los psicólogos, proponiendo la división del análisis

del entorno en dos ramas: el entorno objetivo (mundo físico modificado por el hombre) y el entorno del comportamiento (hechos psicofísicos, red, cultura, valor).

Entre los primeros trabajos realizados en este contexto, se encuentra la obra de K. Lynch sobre la imagen de la ciudad publicada en 1960. Este trabajo es el punto de partida de múltiples estudios, en los cuales se recalca que la percepción del espacio urbano supone, no únicamente la visión de elementos singulares y de elementos constantes, sino también la percepción de los vínculos que les unen entre sí. La relación percibida implica memoria, imaginación y experiencia del marco vital, y es una relación de familiaridad. K.Lynch (1998) basa su estudio en la realización de una encuesta en la cual los habitantes debían trazar un plano, describir algunas de las rutas urbanas y redactar una lista con los elementos más característicos de la ciudad. El espacio urbano, aparece así caracterizado, por una serie de variables que le dan identidad.

Enfoque derivado de las Teorías del Comportamiento

El estudio de los flujos y de la transmisión de la información implica un conocimiento de los emisores y de los receptores, individuos y organizaciones, ya que las interacciones y las comunicaciones, modifican la percepción y el comportamiento de las personas (Bailly, S.A., 1978).

La Geografía del Comportamiento trata gran parte de los ámbitos de la vida social tales como migraciones, desplazamientos, comportamientos en consumo y ocio, segregación y circulación de las informaciones.

La investigación geográfica, desde este punto de vista, se orienta hacia un mejor conocimiento de las imágenes mentales que individuos y organizaciones se forjan del mundo real Ideas tales como “modelos de percepción de la realidad”,

“percepción del entorno” y “preferencias espaciales” han pasado a ser de uso común en la Geografía Conductista y ponen de manifiesto que el hombre sólo tiene una visión parcial de la realidad; no obstante esta visión debe ser la que guía su comportamiento (Bailly, S.A., 1978).

“A la hora de modelar un espacio un urbanista debe tener un conocimiento de las imágenes y una comprensión de los móviles de las decisiones que resultan vitales a la hora de elaborar planes o legislación urbana” (Bailly, S.A., 1978).

1.3.2.4. Modelos derivados de la Teoría General de Sistemas

Las lagunas de las teorías y modelos basados en los esquemas de la economía clásica tuvieron como consecuencia que numerosos investigadores recurrieran a diversas ramas de las ciencias humanas y físicas tales como el análisis sistémico, las teorías de la organización, las teorías de la comunicación y las teorías del comportamiento.

En los modelos de estructura urbana analizados se supone que los procesos sociales y económicos de las ciudades están interrelacionados de múltiples formas, pero la mayor parte de ellos no estudian estas interdependencias. En las décadas de los sesenta y setenta comienzan a aparecer estudios de procesos interdependientes, bajo el nombre de sistemas urbanos (Johnson, J.H., 1974).

La ciudad es un sistema que sólo es posible entender mediante el estudio de la situación y del papel de cada uno de los elementos que actúan en el interior del todo. Las comunicaciones permiten actuar entre sí a las actividades y organizaciones y la interacción del medio social y político con el económico explica las originales características del comportamiento de las sociedades urbanas. La investigación geográfica se orienta así, hacia un mejor conocimiento

de los flujos (relaciones) de los comportamientos y de las organizaciones (Bailly, S.A., 1978).

Un sistema puede definirse como: conjunto de elementos caracterizado por diversos atributos, conjunto de relaciones entre los atributos, conjunto de relaciones entre atributos y el entorno.

La ciudad como sistema, únicamente podemos explicarla y entenderla, si analizamos su situación y la función que desempeñan todos y cada uno de los elementos que la integran. Estos elementos son interdependientes (el sistema residencial está formado por las viviendas y por la gente que en ellas vive y no podemos estudiarlos aislados), por tanto debemos demostrar estas interrelaciones o interdependencias y encontrar su estructura.

La ciudad es un sistema abierto que se encuentra en constante interacción con el entorno, a través de unos inputs y unos outputs, definidos estos fundamentalmente, por variables económicas, sociales y de organización.

Los elementos que hay que considerar, en la toma de decisiones acerca de la localización en el medio urbano, son entre otros: el comportamiento humano, la estructura económica, la utilización del suelo y el sistema de transportes. Las interrelaciones que se producen entre ellos, son las que permiten la organización del espacio. Los transportes urbanos constituyen el elemento más importante para organizar el espacio urbano (L. Wingo y H.S. Perloff, 1961 cit. Bailly, A.S., 1978).

La misma idea es la que toma como base G.Tornqvist (1973, cit. Bailly, A.S., 1978) en un estudio de política de ordenación regional en Suecia. Este autor parte de la idea de que la sociedad en su conjunto es un sistema de actividad, en el que proceso de localización y red de transportes están íntimamente relacionados. La

conclusión de este estudio es que la descentralización de cualquier actividad, lleva implícita la construcción de una red interprovincial directa, de modo que los grandes centros puedan relacionarse entre sí, para que las actividades que necesitan contactos personales puedan tener lugar con un máximo de eficacia.

El estudio de la ciudad, desde el enfoque sistémico, plantea algunos problemas. Uno es la determinación clara de los límites de un sistema urbano. Las delimitaciones realizadas, están en relación con los objetivos de los estudios y esto en algunos casos puede alterar las conclusiones. Otro problema planteado en la realización de estudios de sistemas urbanos es la selección de factores sociales. En este sentido D.Huff (1960, cit Bailly, A.S., 1978) selecciona los siguientes factores: localización geográfica, grupo cultural, status socioeconómico, personalidad, edad y experiencia pasada, educación y aspiración. Los grupos o las organizaciones son los elementos básicos de los estudios de los sistemas urbanos y de su entorno (Bailly, A.S., 1978).

Existen dos corrientes de estudio de los sistemas urbanos derivadas de concebir la ciudad como sistema mecanicista ó entenderla como sistema evolutivo. Los estudios derivados de la corriente mecanicista intentan simular en el tiempo sistemas complejos, descomponiéndolos en elementos y construyendo modelos con las interacciones. Por el contrario, los estudios derivados de la corriente evolutiva, utilizan los sistemas como marco metodológico para la toma de decisiones. Se trata de “ *definir por iteración el sistema urbano y de identificar los objetivos de ordenación y las variantes que los hacen posibles, amen de prever racionalizar las opciones y de efectuar una síntesis*” (Bailly, A.S., 1978).

Un concepto importante que aparece en el análisis de sistemas es el de organización. Cuando en un sistema compuesto por un número “*n*” de elementos se conoce el valor de un único elemento del sistema y puede predecirse el valor

del resto, entonces se entiende que el sistema está altamente organizado (Harvey, D., 1969 cit. Bailly, A.S., 1978).

Los hombres se agrupan en la ciudad formando grupos. Estos grupos pueden identificarse con un espacio concreto (barrios de italianos, marroquíes, etc.) o no (asociaciones sociales). Entre estos grupos se establecen flujos de información, más elevados en el interior del grupo que entre los diversos grupos. El hombre es miembro de diversas redes de información, que constituyen organizaciones. P.Claval (1973, cit Bailly, A.S., 1978) llegó a afirmar que *“la historia de las ciudades es, en gran medida, la de las organizaciones”*. Este autor piensa que el estudio de la estructura de las relaciones que se establecen en el espacio urbano permite entender las causas y los motivos de los mecanismos de segregación y de las desigualdades.

La vida de la sociedad se basa en diversos tipos de relaciones; el conocimiento de éstas facilitará la comprensión del sentido y la estructura de las construcciones territoriales. El avance en las telecomunicaciones (posibilidad de comunicación a larga distancia en corto espacio tiempo) y la complejidad existente en la administración, son para A.S. Bailly (1978) los factores más determinantes de la vida económica y social de las ciudades actuales.

Pero las organizaciones son parte de una amplia y compleja red de comunicaciones, estando íntimamente relacionadas la estructura de las organizaciones, la del sistema urbano y la de las redes de comunicación.

Las investigaciones desde el enfoque sistémico se realizan por profesionales de diversas disciplinas que utilizan los ordenadores para procesar y manipular los datos. Los modelos resultantes se expresan normalmente de forma matemática. Estos modelos tienen grandes ventajas con respecto a los modelos precedentes: en primer lugar pueden sufrir sucesivos ajustes con objeto de que la formulación

matemática se adapte a la realidad; por otro lado permite realizar las previsiones futuras de la ciudad, para la planificación urbana.

Desde nuestro punto de vista ha existido un error conceptual importante por parte de muchos autores que tras la realización de modelos matemáticos (incluimos en ellos los modelos de simulación), creen estar elaborando modelos sistémicos. La realización de los primeros modelos a través de las matemáticas y la informática, no implica estar realizando modelos globales, modelos que relacionan un gran número de variables del sistema urbano es decir modelos desde planteamientos sistémicos.

El desarrollo actual de la informática basado en: ordenadores más potentes, técnicas que permiten analizar globalmente el espacio (ya sea o no el espacio urbano) tales como los Sistemas de Información Geográfica, la disponibilidad cada vez mayor de datos digitales, tanto socioeconómicos como referentes al territorio (bases de datos e imágenes de satélite) y el desarrollo de la cartografía digital entre otras, está permitiendo en los últimos años realizar modelos globales, que integren un gran número de variables del sistema urbano; estos modelos, sí pueden considerarse como modelos sistémicos.

Podemos afirmar que el desarrollo de modelos urbanos globales ha sido posible gracias al progreso experimentado por las técnicas de análisis. Por esta razón y antes de pasar a desarrollar los modelos urbanos actuales vamos a resumir brevemente las técnicas más frecuentes que tradicionalmente se han utilizado para analizar y la elaborar modelos del espacio urbano.

1.3.2.5. Técnicas de modelización

El elevado número de factores que intervienen en el desarrollo de las ciudades y en la configuración de su estructura urbana, junto al gran dinamismo existente en el espacio urbano, hacen que el estudio de los espacios urbanos sea en la mayor parte de las ocasiones una labor tremendamente compleja. Los geógrafos y otros profesionales dedicados a estudiar el espacio urbano han tenido que recurrir a técnicas, que faciliten el análisis de la complejidad del espacio urbano. Las técnicas más utilizadas han sido las derivadas de la ecología factorial, los juegos urbanos de simulación y los modelos de difusión.

Todos los métodos factoriales se engloban bajo el nombre de ecología factorial. Los métodos factoriales comienzan a utilizarse a finales de los años sesenta, principios de los setenta, para estudiar datos referentes a unidades espaciales concretas. El propósito de estos métodos, es analizar las dimensiones de un fenómeno (por ejemplo: dimensiones de la urbanización), la escala y la clasificación de la información espacial con objeto de establecer generalizaciones. El análisis factorial es una técnica que permite sintetizar la información espacial.

Esta técnica han sido aplicadas fundamentalmente para diferenciar áreas sociales en la ciudad, es decir, para explicar la estructura social de la ciudad, pero también ha sido utilizada para clasificar ciudades, elaborar mapas mentales sobre preferencias espaciales o para la determinación de flujos espaciales (Estébanez, J., 1988).

Otra técnica que empieza a utilizarse en los años sesenta, con objeto de simplificar el estudio del espacio urbano es los juegos de simulación. Esta técnica, basada en la utilización de ordenadores, trata de simular de la forma más compleja posible, todas las decisiones y acciones que influyen en la configuración del espacio urbano. La utilización de esta técnica implica en la

mayor parte de los casos una excesiva simplificación de los datos, pero es un instrumento bastante útil para analizar el espacio urbano.

Los modelos de difusión permiten seguir la percepción de una innovación. T. Hagerstrand (1952, cit. Bailly, A. S., 1978) realiza la primera aplicación geográfica de estos modelos con ayuda de técnicas de cálculo y de un ordenador. Este autor lo aplica a la innovación agrícola.

La técnica de la simulación se ha desarrollado gracias a los avances producidos en el campo de la informática. Esta técnica es totalmente diferente a los análisis clásicos matemáticos, porque establece soluciones parciales que dependen de las condiciones de entrada y del sistema diseñado; por el contrario, los análisis matemáticos plantean soluciones concretas a los problemas.

La simulación es una técnica que permite generar modelos de difusión, entendiendo por difusión un proceso geográfico que permite la irradiación y la extensión de determinado fenómeno en el espacio, desde un punto de origen concreto, por ejemplo: el crecimiento urbano a escala mundial o regional. Es por tanto un proceso que debe analizarse en el espacio y en el tiempo (Santos, J.M., 1994).

“La simulación supone modelizar una situación en la que los elementos son representados por procesos aritméticos y lógicos, que pueden ser ejecutados por un ordenador con la finalidad de predecir comportamientos dinámicos de la misma” (Emshoff, J.R., 1970 cit. Santos, J.M., 1994).

La mayor parte de los modelos realizados a finales de los años sesenta y durante aproximadamente las dos décadas siguientes utilizaron estas técnicas. Ejemplo de ellos son los modelos publicados por B. Harris (1975). Este autor engloba artículos realizados por urbanistas estadounidenses, centrados en planeamiento

urbanístico; es decir, ejemplos de aplicación de modelos matemáticos de simulación al urbanismo. Este libro pretende constatar la importancia de esta técnica como instrumento eficaz para la comprensión de algunos aspectos decisivos en la explicación y prognosis de los procesos urbanos. Los modelos que aparecen son:

- Modelo de oportunidad- accesibilidad para distribución del crecimiento regional. Es un modelo de crecimiento urbano que depende en gran medida de los conceptos de transporte.
- Modelo de proyecto de plan de usos del suelo. Este modelo pretende minimizar el coste total de inversión pública y privada.
- Modelo de distribución de crecimiento para la región de Boston.
- Modelo para simular el desarrollo residencial.
- Modelos de simulación para programas de renovación
- Modelo de potencial de venta al por menor.
- Modelo de simulación de renovación urbana
- Modelos urbanísticos de venta al por menor.
- Modelos de planificación del transporte urbano en 1975

Otro ejemplo de modelos matemáticos de simulación urbana, es el realizado por P Hall (1975). Este autor basa su libro en el volumen número 3 de la revista *Regional Studies* publicado en diciembre de 1969 . El significado del libro es muy similar al libro de B. Harris (1975). El autor recoge algunos de los primeros trabajos elaborados y publicados en Inglaterra de análisis de fenómenos urbanos, la mayor parte al planeamiento y a la gestión urbanística, mediante la aplicación de modelos matemáticos.

En este contexto también se crean centros especializados para el estudio de los usos del suelo y las formas de construcción. Leslie Martin y Lionel March fundan un centro en 1973 en la Universidad de Cambridge denominado Centre Martin for Architectural and Urban Studies. Los trabajos inicialmente fueron bastante abstractos y solo estaban relacionados remotamente con el campo de la arquitectura y el planeamiento urbanístico. Los estudios se centraban en las formas de construcción de los edificios y las redes y cómo las personas los utilizaban. El método igual que en otras disciplinas, consistía en describir a través del uso de modelos matemáticos, las propiedades físicas de los edificios y las ciudades y el comportamiento de las personas en ellos (Echenique, M., 1994).

Según M. Echenique (1994) las descripciones matemáticas llevaban a la construcción de modelos, a través de los ordenadores, los cuales podían manejar la gran cantidad de datos cuantitativos necesarios, para representar de forma real las ciudades o las construcciones específicas. Con el desarrollo de ordenadores cada vez más rápidos y potentes, estos modelos fueron usados para explorar posibles alternativas en la construcción de edificios y redes y para evaluar su uso.

Los resultados de estos trabajos, en principio eran poco difundidos; esta fue la razón por la cual algunos de los investigadores de este centro fundan las revistas *Revista Urban Space and Structures* (1972) y *Environment and Planning B* (1974) como formas de difusión de estos estudios (Echenique, M., 1994).

M. Batty (1994) reconoce que el centro *Martin for Architectural and Urban Studies* constituye siempre un notable ejemplo de convicción, de que la mejor arquitectura y diseño urbano debe basarse en un profundo entendimiento de la forma en que se desarrollan las ciudades y los edificios, su organización, y su funcionamiento como sistemas dentro de su entorno.

La explicación de las formas físicas estaba en de la naturaleza de su organización, en la forma en que se expresaba la información y en la forma en la que se reflejaban sus funciones y procesos (Echenique, M., 1994). Estas investigaciones se denominaron en 1971 “*geometría del entorno o del medio*”. Estos trabajos se han desarrollado en diversos caminos, desde formas gramaticales a modelos de redes, pero se basan en que un buen entendimiento de la forma debe basarse en el estudio de procesos en los cuales reglas ejecutadas localmente, generan estructuras que pueden mostrar un orden global. (Batty, M., 1994).

Según M. Batty (1994) en los años setenta se invierten los términos en los modelos urbanos; éstos se vuelven menos atractivos para explicar las estructuras y las condiciones urbanas. Este autor indica que en esta época descende el interés por profundizar teóricamente y se produce un cambio importante con la utilización de los ordenadores, generándose un gran número de aplicaciones informáticas en planeamiento, que prácticamente no fueron utilizadas (salvo en pequeñas escalas y proyectos más rutinarios).

El desarrollo del entorno de los Sistemas de Información Geográfica en los últimos 15 años puede mostrarse como el relleno al vacío producido por el descenso producido en el uso de modelos en niveles estratégicos. Sin embargo estos sistemas son construidos en torno a conceptos de representación y cartografía sin análisis y sin un buen diseño. Los vendedores de Sistemas de Información Geográfica intentan mejorar sus sistemas añadiendo funcionalidades que en principio no estaban disponibles. Es decir, los Sistemas de Información Geográfica no están adecuados a la teoría en muchos casos. Los diseñadores de Sistemas de Información Geográfica deben aceptar los conceptos teóricos para adaptar sus herramientas (Batty, M., 1994). En este sentido este autor destaca que las ideas pioneras de hace veinticinco años son tan importantes ahora como lo fueron entonces o posiblemente más.

En 1983, se celebra en Waterloo un Symposium Internacional sobre las nuevas direcciones en el modelado urbano. Los resultados de este simposium (Hutchinson, B., y Batty, M., 1991) son importantes porque muestran, no únicamente las críticas a los modelos urbanos, sino las futuras direcciones que deben seguirse. En este simposium se señala la inadecuación de los modelos para resolver problemas específicos y problemas prácticos; pero parece que los cambios empiezan a producirse a través de los modelos dinámicos de las estructuras espaciales que incorporan la función tiempo dependiente y la incorporación en sus desarrollos de conceptos y teorías provenientes de otras disciplinas (teoría del caos, teoría azar, catastrofista, fractales, etc.).

1.3.2.6. Modelos urbanos actuales

Las estructuras urbanas establecidas (configuración, forma y dimensión de la ciudad) están cambiando y desarrollándose actualmente con más rapidez que lo han hecho en cualquier otro momento histórico; los procesos de descentralización, cambio demográfico, reestructuración industrial, etc. están produciendo cambios rápidos y constantes en la morfología y estructura de la ciudad.

Según P.A. Longley (1999, en Pacione, M., 1999) los modelos clásicos de estructura urbana desarrollados por Burgüess, Hoyt, Harris y Ullman y otros ecologistas humanos de la escuela de Chicago en los años veinte y treinta, los modelos derivados de las teorías microeconómicas de la renta de los usos de suelo urbano (trabajos de Muth y Alonso citados anteriormente) y los modelos de gradientes de densidad, perduran en la actualidad, porque su poder esencial es

abstraer las características básicas reales de los sistemas urbanos. Estos modelos fueron el punto de partida de los análisis de estructura urbana pero actualmente son irrelevantes para representar la estructura del mundo real.

La geometría regular de los usos del suelo con el tiempo resulta inadecuada para mantener otras investigaciones y la investigación de la morfología urbana más avanzada se centra en estudios más idiográficos. En consecuencia muchos investigadores y estudiantes se encuentran desanimados para buscar y representar generalizaciones acerca de la morfología urbana a través del espacio y del tiempo (Longley, P.A., 1999 en Pacione, M., 1999).

Los geógrafos durante bastante tiempo han intentado buscar soluciones a los problemas urbanos, concibiendo las ciudades como sistemas, en los cuales las unidades geográficas interrelacionadas, formarían un conjunto que funcionaría globalmente como un todo (Haggett, P., 1976).

Los aspectos seleccionados de los sistemas urbanos se representan en modelos urbanos, usando fundamentalmente datos cuantitativos. Estos datos se utilizan para representar características de los sistemas. P.A. Longley (1999, en Pacione, M., 1999) pone de manifiesto la imprecisión de estos datos, socioeconómicos en su mayor parte, debido entre otras razones según el autor a que los datos no son datos en bruto, sino que antes de ser utilizados por los investigadores, ya han sido tratados (promediados para unidades administrativas determinadas); esto genera problemas de desagregación de datos y de escala. Además el autor añade que aún admitiendo la precisión geográfica de los datos, en muchas ocasiones determinados aspectos de los sistemas urbanos deben ser medidos y representados a través de información adicional, debido a la inexistencia de los datos requeridos, por ejemplo datos de ingresos.

Los modelos urbanos, pueden ser utilizados en sentido estático, destinados a representar el estado de los sistemas, por ejemplo la representación del tamaño y la forma de un sistema urbano, o en sentido dinámico, resaltando los cambios en el tiempo de las características del sistema.

Los modelos dinámicos usan representaciones de estados estáticos, junto a información acerca de la naturaleza y de los cambios, para desarrollar simulaciones o escenarios los cuales pueden ayudar al desarrollo de futuros sistemas (Longley, P.A., 1999, en Pacione, M., 1999). Los modelos urbanos dinámicos suponen entender las formas de funcionamiento de un sistema urbano y tal entendimiento se predice sobre la base de lo que sabemos de las formas espaciales de núcleos urbanos.

En pleno auge de la Geografía Aplicada en los años setenta los conceptos de física social e interacción espacial fueron extensamente usados por los geógrafos y planificadores para modelizar el funcionamiento de los sistemas urbanos. (Batty 1976, Birkin 1996 cit Pacione, M.,1999 y Wilson 1980). Esto fue parte del acercamiento a la tradición básica del planeamiento racional por la que los problemas urbanos y sus soluciones eran concebidos en términos físicos en su mayor parte (Batty, M., y Longley, P.A., 1994).

Los modelos urbanos de los setenta fueron abiertamente ambiciosos en el intento de modelizar completamente los sistemas urbanos. Se desarrollaron en torno a la mejor tecnología y datos disponibles en esa época, pero en la practica, los datos resultaban inapropiados, las escalas de resolución espacial pobres y los ordenadores poco potentes por lo que no permitían el desarrollo de escenarios principales. Es decir, la calidad de los datos y ordenadores, no se correspondía con el poder de los conceptos e ideas desarrolladas por los geógrafos.

En los años setenta se incrementó el número de geógrafos que llegaron a la conclusión de que los modelos eran simplificaciones de un número muy grande de datos de todo lo que interesaba a los sistemas urbanos y pronto los modelos fueron irrelevantes y trivialmente malentendidos por ellos (Longley, P.A., 1999, en Pacione, M., 1999). Según este autor se estableció una desilusión con este enfoque y se abandonó la búsqueda de representaciones cuantitativas del estado y dinámica urbana.

Desde entonces la corriente ha cambiado. La tendencia se ha invertido y existe una revigorización de la modelización y simulación de los sistemas de la ciudad. Esto es posible debido a:

- La gran disponibilidad de datos digitales de las áreas urbanas. Estos datos son tratados en sofisticados modelos de datos de sistemas urbanos pudiéndose realizar a su vez análisis cuantitativos.
- La disponibilidad de datos de alta resolución sobre las ciudades (imágenes de satélite).
- Progreso de la cartografía digital
- Incorporación de teorías provenientes de otras ciencias (caos, fractales, etc.)
- Fundamentalmente debido al desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica.

Los Sistemas de Información Geográfica permiten, almacenar, manipular, gestionar y proporcionar salidas gráficas de todos los temas geográficos, incluidos por supuesto los relacionados con el espacio urbano (Burrough, P.A., y Mcdonnell, R.A., 1998).

Gran parte de las contribuciones del desarrollo de modelos urbanos utilizando Sistemas de Información Geográfica se debe a P.A. Longley y M.Batty. Estos autores demuestran en sus trabajos como los Sistemas de Información Geográfica permiten gestionar y manipular toda la información disponible del espacio e

incrementar y facilitar las representaciones de la realidad. Sin embargo, y a pesar de su importante contribución, no han sido estos los únicos autores que han trabajado en este tema y podemos mencionar entre otros los estudios que plantean las posibilidades, problemas y las perspectivas de la utilización de Sistemas de Información Geográfica en modelos urbanos (Sui, D. Z., 1994, 1998), las perspectivas de cambio metodológico que aportan estas nuevas tecnologías (Sui, D. Z., 1998), o las que relacionan modelos de transporte y usos de suelo (Johnston, R.A., y de la Barra, T., 2000).

Una característica inherente de los modelos urbanos supone que conforme un modelo se vuelve más complejo, se parece más al mundo real al cual busca aproximarse. La complejidad es un índice de composición del total de datos urbanos. La mayor parte de la complejidad del modelado urbano depende de la integración, manejo y procesamiento de datos y los Sistema de Información Geográfica han trivializado estos problemas. En este sentido se están estableciendo fundaciones y empresas destinadas a su desarrollo. Estos desarrollos son oportunos porque la teoría urbana en si misma está empezando a forzar cambios.

El fallecimiento de la primera generación de modelos urbanos fue también principalmente porque se asume un único centro en la ciudad (CBD), incrementado por los rápidos cambios en la estructura de las áreas urbanas contemporáneas. Además de las consecuencias del relativo fallecimiento de los modelos urbanos como área de la Geografía Aplicada, también condujo a una disminución en el propósito de los objetivos del planeamiento racional que dominó la postguerra. Los principios no contestados por los geógrafos urbanos en las nociones de renta económica y jerarquía urbana, permanecen para fortalecer la relevancia del tema y proporcionan una forma de comparación de sistemas urbanos diferentes (Longley, P.A., 1999, en Pacione, M., 1999).

Al igual que las ciudades se han desarrollado y se han vuelto más complejas, variadas y especializadas, los viejos principios de estructura urbana han desaparecido y se están desarrollando nuevos enfoques de explicación de estructuras urbanas.

Un ejemplo de modelo de la actual forma de la ciudad que puede adaptarse para su posterior incorporación a modelos dinámicos es el establecimiento de los valores de la propiedad de un área urbana a través de los Sistemas de Información Geográfica (Longley, P.A., et al, 1994). Estos autores toman como punto de partida los modelos de renta económica desarrollados por Alonso 1964 y Muth 1969, pero crean sus propios datos e incorporar un mayor número de variables urbanas.

Los cambios en la densidad de los usos del suelo urbano es otro de los temas tradicionales investigado por los geógrafos. Pero existen pocos trabajos que relacionen la estructura urbana con las actividades desarrolladas en la ciudad. V. Mesev et al (1995) desarrollan un modelo en el cual integran la forma física de un área urbana y datos que indican la forma en la que la población se configura en dicha área. Para el estudio de la forma física de la ciudad utilizan imágenes de satélite, que tras un proceso de clasificación transforman en usos del suelo y para las características socioeconómicas de la población, utilizan los datos digitales del censo de población. Un método similar fue el utilizado por P. A. Longley y V. Mesev (1997) para establecer gradientes de densidad en Norwich (U.K).

Uno de los nuevos enfoques de explicación de las estructuras urbanas se basa en la utilización de fractales (Batty, M., Longley, P.A., 1994).

La geometría fractal fue desarrollada por Mandelbroth desde los años treinta hasta los años cincuenta, pero empezó a popularizarse a partir de los años ochenta. B. Maldelbroth (1997) señala que las formas naturales son irregulares y

están fragmentadas. La existencia de estas formas es un desafío; es según este autor el estudio de las formas que Euclides descarta por “amorfas” o “informes”.

La respuesta a este desafío es una teoría que permite describir muchas de las formas irregulares o fragmentadas que nos rodean; esto se logra mediante la identificación de una serie de formas que Mandelbroth denomina fractales (figura nº 2).

Fractal significa romper en pedazos, fragmentar y también irregular. Los fractales pueden definirse como “*entes geométricos distintos e infinitos*” o “*objeto matemático de dimensión no entera*” y se generan a través de iteraciones, repeticiones, de un patrón geométrico establecido como fijo. Un concepto importante es el de dimensión fractal entendido como el grado de irregularidad o interrupción.

Las disciplinas en las cuales se han aplicado las ideas originales de Mandelbroth han sido muchas, incluida la Geografía. A. Dauphine (1995) aplica esta teoría de forma general a problemas de Geografía Física y Geografía Humana, posteriormente la aplica específicamente a la climatología (Dauphine, A., 1998). R. Wallance (1994) lo aplica a la transmisión del SIDA en comunidades con características sociales específicas. L. Benguigui (1995) al análisis de los sistemas de transporte público en París. S. Appleby (1996) al establecimiento de pautas de la distribución de la población. D. Dorling y D. Fairbairn (1997) a la cartografía.

Pero dentro de la Geografía ha sido en el análisis del espacio urbano donde esta teoría ha tenido mayor relevancia y repercusión. “*La geometría fractal transcribe una organización hierática en un sistema espacial que sigue una lógica particular*”(Frankhauser, P., 1997). La geometría fractal se utiliza para entender y planear la forma de las ciudades mostrando como es capaz de simular el

crecimiento de las ciudades mediante los ordenadores. Las ciudades crecen actualmente siguiendo unos patrones irregulares. Pero si este crecimiento se entiende y se estudia en forma de fractales la irregularidad, el desorden, la complejidad y la diversidad del crecimiento urbano desaparece.

La geometría fractal proporciona una nueva forma de estudio de la densidad urbana, de los lugares centrales y nuevas formas de visualizar el impacto de las decisiones de mercado en la ciudad; y sobre todo una nueva forma para el planeamiento de la ciudad. (Batty, M., y Longley, P.A., 1994).

La geometría fractal se utiliza para medir la estructura urbana y para ver como se “rellena” y se desarrolla el espacio urbano (Longley, P.A., y Mesev, V., 1995), (Frankhauser, P., 1991 y 1997), (Batty, M., y Xie, Y., 1996), (Medda, F., et al 1998), (Longley, P.A., y Mesev, V., 2000). También se aplica para medir la densidad de población urbana (Batty, M., y Kim, K.S., 1992).

Esta nueva corriente dentro del estudio de la ciudad desarrollada en la última década ofrece una interesante perspectiva de análisis detallado de la dinámica de los espacios urbanos. En España esta técnica ha sido muy poco y únicamente hemos encontrado referencias a un estudio, que estudia el crecimiento fractal de las ciudades. Este estudio constituye un proyecto de fin de carrera del departamento de Matemática Aplicada de la Escuela de ingenieros de telecomunicaciones de la Universidad politécnica de Valencia (<http://www.etsit.upv.es/depart/dtmat/project/fractal.htm>).

Figura N° 2 Formas Fractales

Figura N° 2 a Tipos formas Fractales

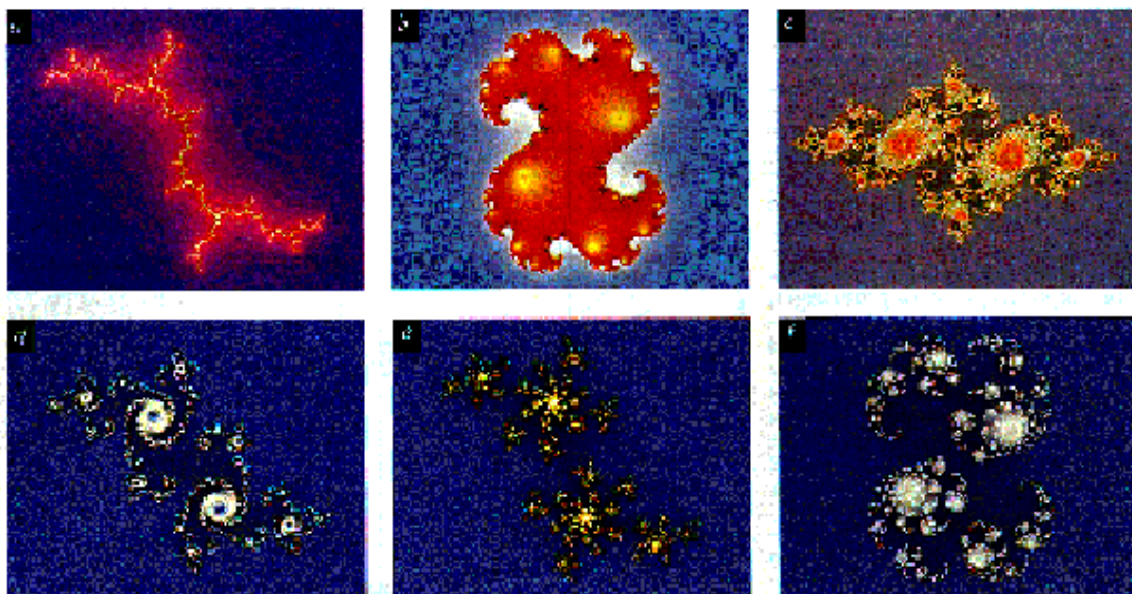


Figura N° 2 b: Mapa densidad

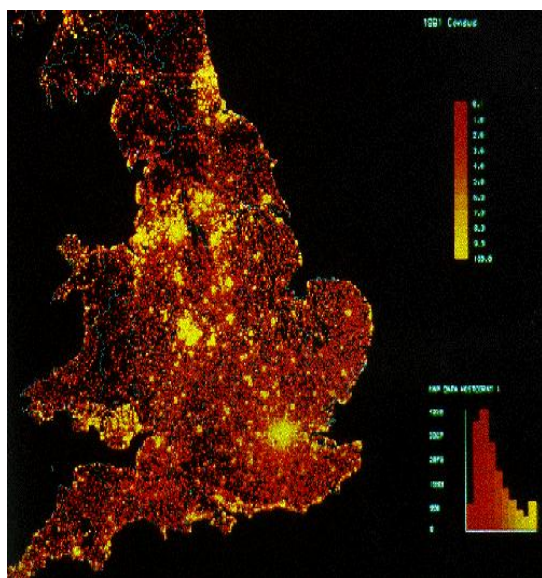
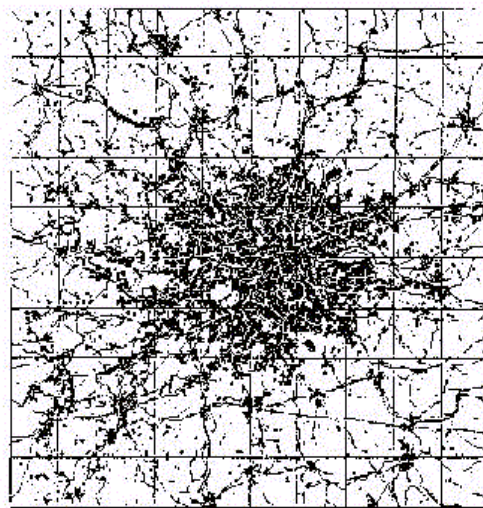


Figura N° 2 b: Mapa Londres
London



condita fundamentalmente en el sistema de la red viaria y concretamente en el de carreteras como elemento estructurador del espacio urbano.

La influencia del sistema de transporte en el desarrollo urbano es un hecho innegable y de suma importancia; sin embargo, en España este no ha sido un tema ampliamente investigado. Esta afirmación se desprende del análisis de la estructura y evolución de los estudios de Geografía de los transportes en España (Antón, F.J.,1999) en el cual parece haberse concedido mayor importancia a los estudios de transporte de forma aislada (transporte marítimo, transporte por carretera, transporte urbano, transporte aéreo).

El estudio de los sistemas de transporte puede abordarse fundamentalmente desde dos enfoques: el económico y el espacial considerando al transporte desde el punto de vista de estructuración del territorio; este segundo enfoque es el que nosotros vamos a desarrollar en este apartado.

El estudio del sistema de transporte en Geografía se basa primordialmente en la labor que ejerce como configurador del espacio. Su poder de relación entre diferentes regiones afecta ampliamente la estructuración y la diferenciación regional.

Por tanto el sistema de transporte es el elemento estructurador esencial en la configuración del territorio porque actúa como factor de localización y es el resultado de la distribución espacial de la actividad productiva. El sistema de transporte, desde un punto de vista territorial, vincula los asentamientos humanos y la actividad económica distribuida en el espacio.

Desde un punto de vista espacial el sistema de transporte tiene una función destacada en la articulación del territorio, reflejando a su vez las contradicciones existentes en él. Los ejes de transporte se desarrollan según los flujos dominantes, los cuales efectúan una segregación que tiene como consecuencia la

aparición de espacios contrastados. Los transportes están condicionados por el espacio concreto en el que se inscriben, adaptándose a la estructura espacial del sistema urbano y a la estructura de los usos del suelo. Para algunos autores (Piñeiro, R., 1990) el sistema de transporte es consecuencia directa del grado de desarrollo de un país y de la estructuración económica que posea, a la vez que permite, afianza y dinamiza el modelo de organización espacial.

El sistema de transporte constituye un elemento clave en la determinación de la estructura urbana y metropolitana. Según R. Fernández (1980) el papel del transporte es fundamental *“en el mantenimiento y reproducción del modelo territorial existente y del sistema urbano configurado a partir de él”*. Los diferentes elementos que forman la estructura urbana son inseparables en un análisis científico que pretenda aportar soluciones prácticas a los problemas planteados. El análisis del sistema de transporte es, entre estos elementos, el tema más determinante, aunque a menudo según R. Fernández (1980) se intente plantear como un aspecto que requiere simplemente soluciones técnicas.

L. Wingo (1972) reconoce que el papel organizador asignado al transporte urbano fue determinante para el campo de la economía del suelo. Según este autor ya en la obra de R. Hurd en 1903 se manifestaba la interrelación de los valores del suelo urbano y del sistema de transporte urbano y según él esta formulación casi no ha sido alterada en trabajos posteriores sobre este tema. Los trabajos de Weber y Von Thunen también situaban al transporte a la vanguardia de la distribución de las actividades económicas sobre el terreno. De esta forma, el transporte se ha convertido en un elemento principal de las teorías acerca de cómo por un lado se distribuyen las actividades económicas y por otro de cómo se desarrollan los valores del suelo en áreas urbanas (Wingo, L., 1972).

La interrelación entre el sistema de transporte y el sistema urbano se manifiesta de formas muy diferentes, pero quizás uno de los reflejos más claros de esta

interdependencia se revela en la morfología y en la estructura urbana. La morfología y la estructura urbana y el sistema de transporte se influyen mutuamente y por ello es necesario estudiarlos conjuntamente. El sistema de transporte condiciona el crecimiento, la estructura y la morfología urbana, pero también el sistema urbano condiciona en algunos aspectos al sistema de transporte. Estas interdependencias han sido sintetizadas por J.M. Seguí, y J.M. Petrus (1991) en los siguientes puntos:

1. Influencia del sistema urbano en el sistema de transporte.

- En primer lugar la diferenciación de los usos del suelo suscita un aumento y una prolongación de los desplazamientos en el espacio y en el tiempo y en segundo lugar determina la utilización de modos de transporte motorizados. El modelo de la ciudad basado en la diferenciación y la aglomeración de las actividades urbanas se distingue por tanto, por grandes necesidades de transporte.
- El desarrollo funcional de la ciudad, dependiente del centro, condiciona el transporte ya que el núcleo económico y administrativo llega a convertirse en un espacio muy congestionado.
- La longitud de las vías de transporte.
- La utilización de un medio de transporte u otro está determinado por la dimensión y forma de la ciudad y por el grado de concentración o de dispersión urbana.

2. Influencia del sistema de transporte en el crecimiento, estructura y morfología urbana.

- Los avances producidos en el sistema de transporte reducen los tiempos de recorrido y generan una mayor diferenciación espacial de los usos del suelo.

- El aumento de la accesibilidad genera nuevos centros de gravedad tanto en actividades como en población.
- La red viaria debe adaptarse a las necesidades de transporte, hecho que determina también la estructura y la morfología urbana.
- La construcción de líneas de transporte colectivo en áreas poco urbanizadas condicionará el desarrollo de la ciudad.

R. Fernández (1980) analiza también la influencia que el sistema transporte tiene en el sistema urbano y señala que son las infraestructuras de transporte las que condicionan el carácter de los intercambios urbanos e interurbanos, aumentan el valor de los terrenos (debido al incremento de la accesibilidad), establecen áreas de crecimiento de la ciudad y determinan el medio de transporte. Para este autor el sistema de transporte posee un carácter estructurador del territorio hipotecando en gran medida las posibles alternativas distintas de desarrollo urbano.

Actualmente, el uso racional de las redes de comunicación es básico para entender la organización del espacio, debido a que la circulación es una forma de toma de posesión de un espacio, permitiendo facilitar los intercambios y determinando la configuración del espacio (VV.AA., 1991). Su influencia se nota en la distribución de la población y en la organización de los espacios agrarios, industriales, urbanos, comerciales, de ocio, etc. Los ejes de un sistema de transporte son foco de atracción para el poblamiento y las actividades humanas, aumentando todas ellas en torno a los citados ejes.

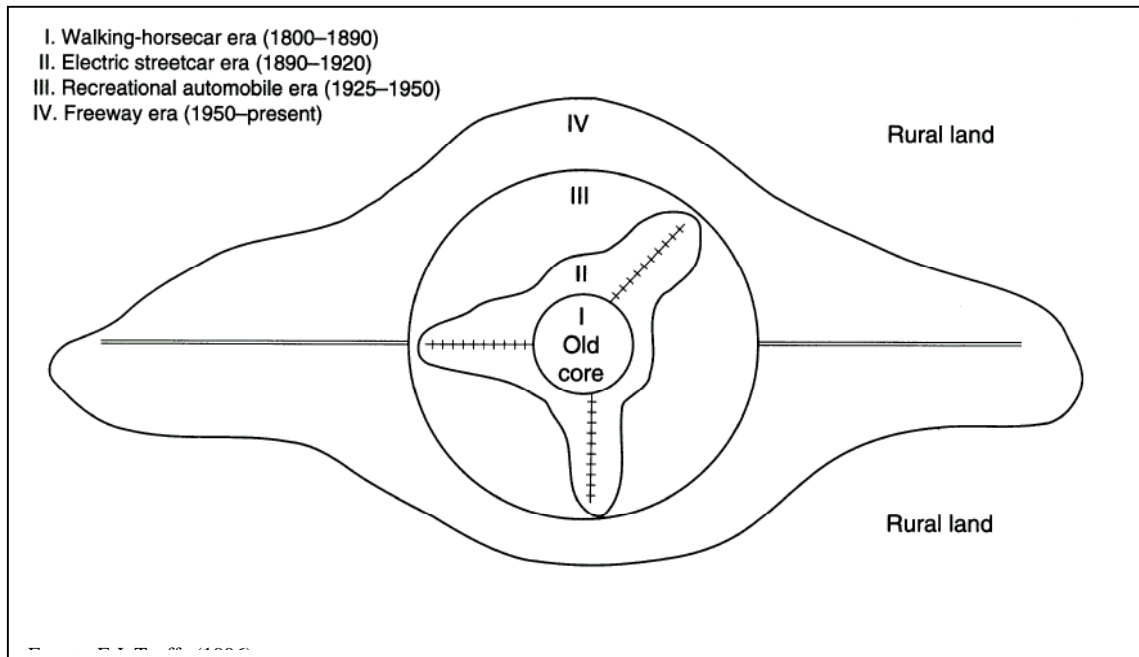
La red de transportes es un elemento vertebrador del desarrollo urbano. El centro de la ciudad, lugar más accesible, existe porque todas las líneas de transporte confluyen en él; si las carreteras, calles, líneas de ferrocarril y de metro, estuvieran configurados en el espacio de forma aislada, sin ninguna conexión, todas las áreas de la ciudad serían igualmente accesibles y el centro no existiría.

Los medios de transporte y la forma y extensión de la ciudad tienen una relación que según J.H. Johnson (1987) es fundamental y compleja a la vez. Históricamente, el crecimiento y el desarrollo de la ciudad han dependido de las relaciones que la ciudad mantenía con las regiones próximas estando determinadas estas relaciones siempre por los medios de transporte. Según este autor, el reflejo del sistema de transporte en la morfología de la ciudad es un hecho relativamente reciente, que aparece con el desarrollo del sistema de transporte urbano. La evolución del sistema de transporte tiene gran repercusión e incidencia en la organización del sistema urbano. Cada etapa de crecimiento de la ciudad está marcada por un cambio tecnológico en el sistema de transporte y consecuentemente por un proceso de expansión de las redes.

Se pueden diferenciar cuatro etapas en la evolución del sistema de transporte que repercuten directamente en la morfología y estructura de la ciudad. Estos periodos se establecen teniendo en cuenta las ciudades de Estados Unidos; por ello las fechas pueden no coincidir exactamente con las de las ciudades europeas. (J.S. Adams 1970, cit Hanson, S., 1986 y Taaffe, E.J., 1996). Estas etapas aparecen reflejadas en la figura nº 3 y son:

1. Etapa de dominio de desplazamientos a pie y en coches de caballos (1800-1890).
2. Etapa del tranvía eléctrico y ferrocarril (1890-1920).
3. Etapa del automóvil (1925-1950).
4. Etapa de vías rápidas (1950 hasta la actualidad).

Figura N° 3 : Evolución del sistema de transporte



De esta evolución derivan dos formas de crecimiento y expansión de la ciudad: la concéntrica y la radial. Las etapas primera y tercera influyen en el desarrollo de la ciudad similar, concéntrico y la segunda y la última generan un desarrollo de la ciudad a lo largo de las principales rutas radiales con áreas más inaccesibles en los intersticios de estas rutas.

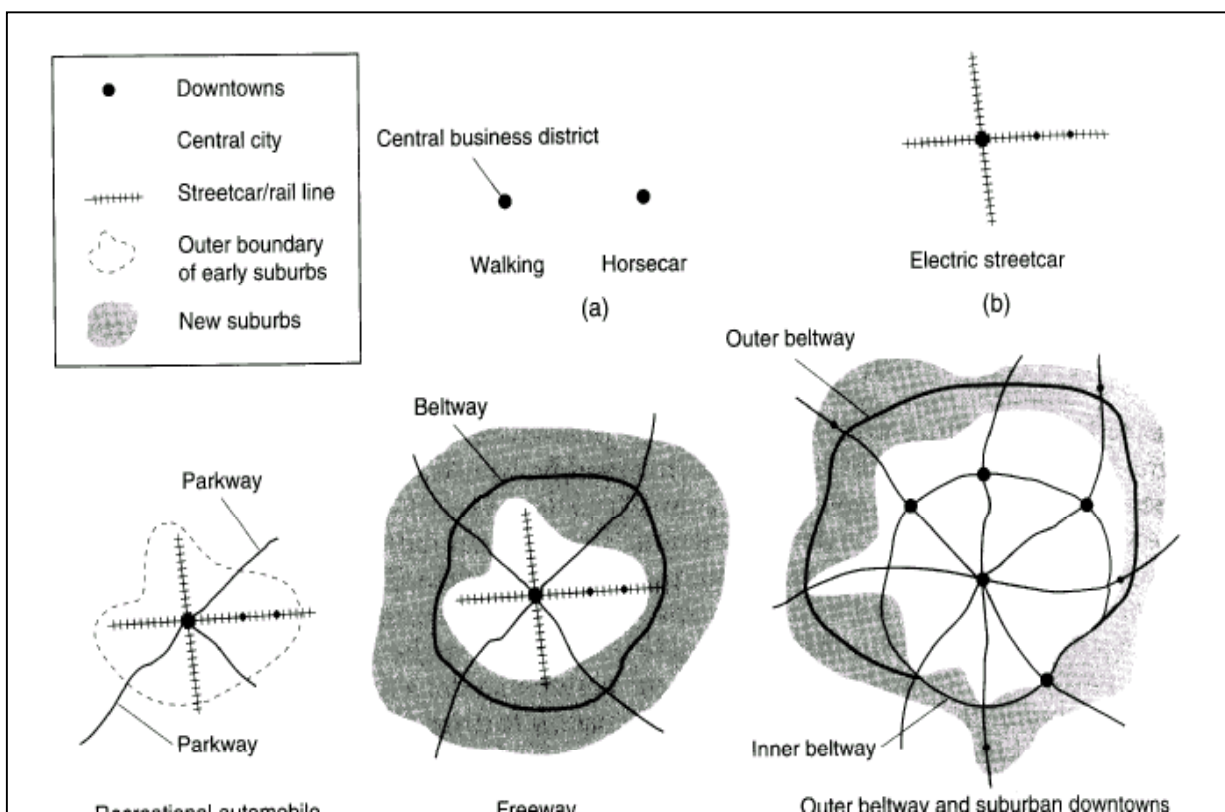
En la ciudad preindustrial la inexistencia de un sistema de transporte adecuado para trasladar a la población al interior de la ciudad, obligaba a sus habitantes a realizar los desplazamientos (mayoritariamente para ir al trabajo), a pie o en vehículos de tracción animal. Por la misma razón, el traslado de mercancías al interior de la ciudad era una labor bastante difícil de realizar. La limitación en los desplazamientos determinaba el tamaño, la morfología y la estructura urbana.

La ciudad anterior a la revolución industrial se caracterizaba por la concentración de edificios en áreas reducidas y compactas, por la irregularidad de sus calles y por la mezcla de usos de suelo urbano. No existía una segregación en los usos de suelo en este periodo.

Los hechos mencionados anteriormente, estaban determinados por la inadecuación e inexistencia de un sistema de transporte que obligaba a que el lugar de residencia y el de trabajo estuvieran muy próximos. La densidad de población en el interior de la ciudad era elevada porque es en el centro donde se concentraba la población con menor poder adquisitivo. Pero el centro también estaba ocupado por las clases más acomodadas que establecían su residencia en el interior de la ciudad.

Hasta finales del siglo XVIII y principios siglo XIX la estructura y desarrollo de la ciudad en forma radioconcéntrica dependía por tanto, mayoritariamente, de las distancias que los residentes podían recorrer a pie o en vehículos de tracción animal (figura nº 4- a).

Figura Nº 4: Evolución del sistema de transporte y forma urbana



Las mejoras producidas en el sistema de transporte durante el siglo XIX fueron determinantes en la expansión de la ciudad hacia el exterior porque permitieron que la separación entre el lugar de trabajo y el lugar de residencia fuera cada vez mayor; esta separación fue posible porque la mayoría de los habitantes de la ciudad se habituaron a realizar desplazamientos diarios, cada vez mayores, para ir a su lugar de trabajo.

El desarrollo del ferrocarril y posteriormente el tranvía eléctrico modificaron la morfología urbana y la estructura primitiva de la ciudad compacta que desaparece en favor de un modelo de desarrollo urbano a lo largo de las líneas de transporte (figura n ° 4- b y c).

El ferrocarril constituyó uno de los estímulos más importantes de crecimiento urbano debido a su capacidad para establecer relaciones entre las ciudades y según M. Wolkowitsch (1973) *“por la capacidad de desarrollo económico para los lugares en los cuales se instalan las estaciones”*. Las líneas de ferrocarril permitieron no sólo la conexión de poblaciones existentes con una ciudad central, sino también la construcción de estaciones en pleno campo alrededor de las cuales comenzó un incipiente proceso de urbanización.

Según J.H. Johnson (1987) la influencia del ferrocarril sobre el crecimiento urbano dependió de las condiciones específicas de cada lugar. Un factor importante era el tamaño de la ciudad central debido a que la importancia del

ferrocarril en los desplazamientos laborales diarios era mayor en torno a las grandes ciudades. Según este autor, también fue importante la postura adoptada por los propietarios de los terrenos próximos a las nuevas estaciones. Ellos determinaban si debía construirse o no y en caso afirmativo el tipo de vivienda más provechoso para sus intereses.

El ferrocarril cumplió una función cada vez más importante en el sistema de transporte urbano de las grandes ciudades contribuyendo a la expansión del área edificada de la ciudad durante el último cuarto de siglo XIX, a la diferenciación espacial de los usos del suelo en la ciudad y a la localización de la industria.

A pesar de la importancia del ferrocarril fue el transporte viario, el que tuvo mayor repercusión en la mayor parte de las ciudades. La importancia del tranvía a caballo se basó en la posibilidad de permitir el crecimiento urbano a lo largo de las grandes vías de acceso a las ciudades. A finales de siglo XIX con la electrificación de los tranvías los límites del área urbanizada se extendieron mucho más.

Los servicios de ómnibus a caballo funcionaron en París durante la tercera década del siglo XIX y en Londres y New York los años inmediatamente posteriores, pero sus consecuencias fueron poco importantes en comparación con las ocasionadas por el tranvía, cuyas tarifas eran más baratas (Johnson, J.H.,1977). La trascendencia de los tranvías y el ómnibus en la morfología de la ciudad se plasmó en la concentración del crecimiento a lo largo de las grandes vías de circulación dando lugar a modelos de desarrollo urbano en forma estrella. Según J.H. Johnson (1987) en los límites exteriores de las ciudades transviarias típicas la edificación se extendía hasta 400 ó 800 m. a ambos lados de las calles

principales dejando intersticios de terreno sin edificar entre ellas. El tranvía permitió la unión de áreas edificadas de ciudades contiguas.

El desarrollo del tranvía y del ómnibus potenciaron el establecimiento de barrios exclusivamente residenciales a cierta distancia de la ciudad; a ello contribuye también la disminución de los costes de transporte y la diversificación de áreas residenciales entre diferentes grupos sociales, debido a la mayor libertad de movimientos en el interior de la ciudad resultado de la mecanización del transporte urbano.

Por tanto, estas innovaciones técnicas contribuyeron a la desaparición de algunas de las limitaciones que impedían la expansión de la ciudad y explican en gran medida, que las ciudades del mundo occidental crecieran rápidamente durante el último cuarto del siglo XIX.

La aparición de los autobuses reforzó la flexibilidad de los servicios de transporte urbano, pero su repercusión en la morfología y estructura interna de la ciudad no varió en gran medida de la originada por los tranvías, debido a que los autobuses también funcionaban sobre líneas fijas. Por el contrario, las áreas suburbanas exteriores de las ciudades mayores, sí se vieron afectadas por los autobuses porque se construyeron áreas residenciales en los espacios libres situados entre las estaciones de ferrocarril.

La red de carreteras y las vías férreas condicionaron el desarrollo de la ciudad. Las necesidades de la ciudad primitiva han cambiado y son sobre todo los transportes colectivos los que originan una expansión urbana en forma de estrella. La ciudad se expandió a lo largo de las carreteras en torno a las cuales se disponían edificaciones que prolongaban la ciudad dejando entre sí amplios espacios libres. Las carreteras representaban los brazos de estrella (Beaujeau, J., 1995); según esta autora esta forma de expansión está relacionada con el grado

de desarrollo de tal forma que en países en los que el sistema de transporte esté poco desarrollado, la población intentará permanecer lo más cerca posible del lugar de trabajo.

La aparición del automóvil en el siglo XX tuvo importantes consecuencias geográficas. El automóvil y el camión impulsaron la dispersión de las actividades urbanas, residencial, comercial e industrial por toda la ciudad. Los lugares de trabajo ya no estaban concentrados únicamente en el centro, sino que muchas veces se encontraban alejados de las grandes ciudades. Este hecho facilitó el rápido desarrollo de ciudad hacia el exterior, así como la edificación de los espacios libres localizados en las principales vías de comunicación.

Hasta la segunda guerra mundial, el transporte público fue el medio de transporte fundamental en las ciudades; pero es después de esta fecha cuando se inicia un aumento de la motorización en los países desarrollados capitalistas, lo cual lleva implícito una gran expansión urbana. El autobús permitió el aumento de la flexibilidad del sistema de transporte y la generalización del uso del coche privado, hizo posible su intensificación. Esto se debió a la reducción de la dependencia de rutas fijas y de horarios de viaje y a la posibilidad de aumentar los desplazamientos. El automóvil implicó un incremento general de la accesibilidad en todo el territorio y en todos los puntos de la ciudad. Las consecuencias más destacadas de su utilización fueron: la descentralización de actividades (fundamentalmente la residencial que tiene como consecuencia la aparición de las llamadas ciudades dormitorio) y la disminución de la densidad urbana (Seguí, J.M., y Petrus, J.M., 1991).

La mejora del transporte público y la difusión del automóvil privado como medio de transporte al alcance de una gran masa de ciudadanos, fundamentalmente en los países desarrollados, transformó el desarrollo y la morfología de la ciudad. Hasta la década de los años veinte la ciudad compacta y comprensible constituía

el modelo de asentamiento urbano, pero el desarrollo del automóvil favoreció el desarrollo de extensas áreas y regiones metropolitanas.

La utilización extensiva del automóvil en las áreas metropolitanas permitió que las áreas residenciales se desarrollasen fuera de las principales vías de circulación. La consecuencia más importante es la aparición de un modelo de dispersión residencial en la periferia de la mayor parte de las áreas metropolitanas. Este modelo no se hubiera producido sin el vehículo privado, de hecho, no se desarrolló plenamente hasta que el automóvil produjo los desarrollos suburbanos de los años veinte. Por tanto el vehículo privado fue el medio indispensable de interacción metropolitana (Wingo, L., 1976).

Las consecuencias del automóvil sobre la morfología urbana fueron mayores en las ciudades que experimentaron la mayor parte de su crecimiento durante en siglo XX. Las ciudades de Estados Unidos - ciudades jóvenes- se ven afectadas con anterioridad por este proceso; por el contrario, las ciudades europeas tienen un desarrollo posterior debido a que su historia está muy consolidada, a las diferencias marcadas por las guerras y a las diferencias étnicas, culturales, religiosas (Giuliano, G., 1998).

Según L. Wingo (1972) durante los primeros treinta años (1920-50) de la era del automóvil, las ciudades que más crecieron tenían densidades brutas inferiores a aquellas cuyo crecimiento tuvo lugar antes de hacerse sentir el impacto del automóvil. Este autor señaló que el censo de población de Estados Unidos en 1960 indicaba que el crecimiento de población de las grandes áreas metropolitanas a partir de 1950 *“ha sido absorbido por sus suburbios y que los centros urbanos han visto, vaciarse su población, a favor del hinterland que rodean la ciudad, un fenómeno facilitado por las nuevas vías de circulación rápida y por las crecientes rentas reales que hacen que aumente el número de propietarios de automóvil”*.

El desarrollo de la red de carreteras como modo de transporte de personas y mercancías es un fenómeno relativamente reciente. La primera carretera se construyó en 1916 para conectar Long Island - New York (Martinez de la Roda. F., 1983). El aumento del número de automóviles, consecuencia directa del aumento de la calidad de vida, implica la construcción y en ocasiones el reacondicionamiento de una red de infraestructura de transporte articulada, adaptada a las nuevas intensidades de tráfico.

Unido al avance de las carreteras, otro desarrollo importante en las infraestructuras de transporte (aunque en este caso según E.J. Taaffe (1996) no implica un cambio tecnológico) es la construcción de vías de circulación rápidas.

Las primeras “vías rápidas” se construyeron en los años cincuenta. Su expansión y mejora, al igual que en el caso de las carreteras, está relacionada con los avances tecnológicos que hacen posible el aumento de la velocidad de los automóviles de uso particular. También contribuye a esta mejora el aumento del nivel adquisitivo de la población que puede permitirse la compra y utilización del vehículo privado. El proceso de construcción y mejora de la red, no tiene lugar en los países desarrollados hasta que los vehículos adquirieron velocidad suficiente, los estados intervinieron en ellas como en cualquier otra obra pública y las pautas de vida de la población, en ciudades cada vez más industriales y comerciales, no presionaron sobre la demanda de movilidad interurbana (Segui, J.M., y Petrus, J.M., 1991).

La consolidación de este sistema de infraestructuras de alta velocidad es la fuerza principal que determina los cambios en la estructura de la ciudad a partir de los años sesenta. Las ventajas derivadas de la centralidad desaparecen y cualquier localización en torno a las vías rápidas puede ser alcanzada a través del automóvil siendo la accesibilidad muy similar en todos los puntos de la ciudad.

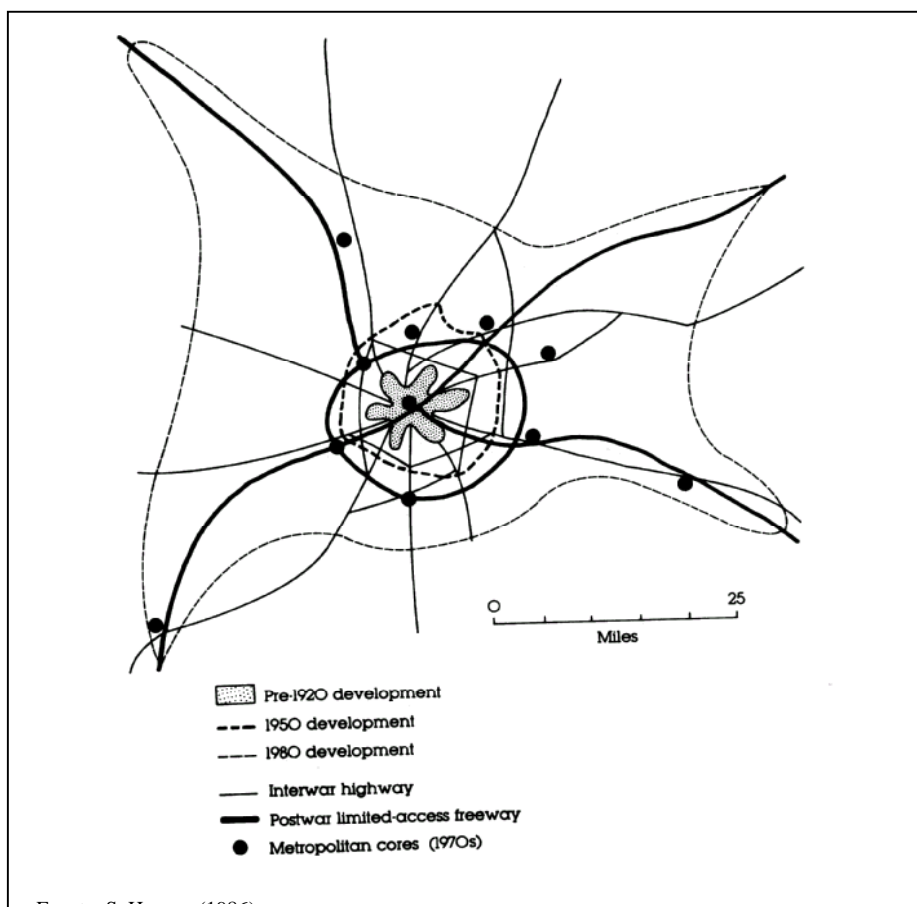
Desde la década de los ochenta, se ha generalizado la construcción de “*beltways*”, autopistas o cinturones orbitales de circunvalación de alta velocidad. La primera en construirse fue el Metropolitan Highway Loop de Nueva York, terminada en 1944 (Hall, P.,1993). Pero realmente la difusión de este tipo de infraestructuras se produce en los años ochenta (M25 de Londres se terminó en 1985, la M-30 de Madrid en 1992, la M-40 de Madrid en 1996). Su construcción permite facilitar y agilizar los desplazamientos entre diferentes puntos del sistema urbano metropolitano, mejorar la accesibilidad de las áreas metropolitanas y dar continuidad a los itinerarios de largo recorrido evitando circular por áreas congestionadas de la ciudad.

Algunos autores (Giuliano, G., 1986 y Taaffe. E.J., 1996) consideran que precisamente la consolidación de este sistema de cinturones o carreteras orbitales es lo que provoca el cambio más fuerte en la estructura de la ciudad, que pasa a tener un desarrollo policéntrico (modelo de crecimiento de la ciudad polinuclear), debido a que en las intersecciones de estos cinturones con sistemas radiales están naciendo nuevos núcleos que concentran actividades comerciales, industriales, residenciales y de ocio.

El nuevo modelo de desarrollo urbano policéntrico está relacionado con la suburbanización periférica de las grandes metrópolis occidentales y se apoya directamente en la existencia de autopistas y vías rápidas de circulación y en la fluidez de comunicación que permite el automóvil privado. Es decir, la red de transportes de la ciudad es el esqueleto vertebrado que estructura el espacio urbano.

Los efectos espaciales derivados de generalización del uso del automóvil han cambiado desde 1920 y aparecen reflejados en la figura nº 5

Figura Nº 5: Efectos espaciales del uso del automóvil



El desarrollo de los medios de transporte es el factor más importante que determina el crecimiento de la ciudad hacia el exterior, permitiendo la aparición de un nuevo modelo metropolitano de desarrollo urbano. Hasta los años veinte, el ferrocarril y el tranvía fueron los que ejercieron un papel clave en el crecimiento de la ciudad, limitándose a direcciones fijas, en paralelo con las vías de desplazamiento de ambos medios de transporte. Desde mediados de siglo XX, la difusión y utilización masiva del vehículo privado transformó la escala de la movilidad urbana permitiendo una mayor dispersión y la posibilidad de extender el tejido urbano en todas las direcciones.

El uso del automóvil altera la estructura urbana de las grandes ciudades ya que permite que se rellenen las áreas que quedaban sin edificar entre las arterias

principales, proporcionando gran cantidad de suelo edificable³ (VV.AA., 1991, Newman, P.W.G., y Kenworthy, J.R., 1996, Boulahbal, M., 1999).

El aumento de la movilidad ha hecho posible que la densidad de población de las áreas residenciales suburbanas disminuya y que se produzca un proceso de descentralización de la industria, comercio y las actividades residenciales. También hay que señalar que se han producido problemas importantes tales como la congestión de las áreas centrales debido a la gran superficie de vía ocupada.

Muchos centros urbanos actúan como focos de atracción en torno a los cuales se concentran actividades empresariales, comerciales, o residenciales caracterizadas por las débiles relaciones que mantienen con ciudad central. Por tanto, el modelo de ciudad originariamente polarizada en torno a un centro dominante con el paso del tiempo adquiere una estructura policéntrica (figura nº 4- d y e).

En este sentido J. H. Johnson (1987) predecía que si continuaban las tendencias urbanas que comenzaron a desarrollarse en los años setenta, el centro de la ciudad dejaría de tener importancia. Este autor añadía que en el futuro la ciudad estaría atravesada por grandes autopistas y autovías y existirían grandes extensiones de terreno dedicadas a nudos de carreteras y estacionamiento, a la vez que se produciría un descenso en la densidad de edificación y los límites del área construida serían cada vez más indeterminados, en la medida en que la gente que trabajaba en la ciudad podría fijar su residencia en el campo gracias a la flexibilidad del transporte que permite el automóvil.

J. H. Johnson (1987) señalaba que la dispersión urbana iría en aumento siempre que los habitantes tuvieran el suficiente nivel adquisitivo para mantener un

³ El suelo disponible era el de un círculo cuyo radio se correspondiera con el máximo desplazamiento de una hora u hora y media de viaje, tiempo máximo del movimiento pendular diario al trabajo; un incremento de la velocidad al doble multiplicaba por cuatro el espacio a utilizar

medio de transporte individual y que la baja densidad residencial constituyera un valor socialmente apreciado. Según este autor además de la baja densidad de vivienda se producirán otros cambios morfológicos. *“Por ejemplo, será cada vez más difícil calcular la estructura urbana y la densidad de población en función de la distancia lineal al centro urbano. Por otra parte la utilización del suelo para ciertas actividades se concentrará con preferencia en las áreas que posean características ambientales particulares adaptadas a aquellas. No es difícil imaginar un tipo de situación en la que los sitios intrínsecamente adecuados para vivienda se sitúen a kilómetros de distancia del resto del área edificada mientras que otros parajes menos adecuados aunque más cercanos a la ciudad central no se utilizaran para fines urbanos”*.

Pues bien, creemos que todas estas previsiones se están cumpliendo en la actualidad. Esta afirmación se deriva del análisis de los procesos territoriales actuales. A. Precado (1996) analiza la nueva dinámica territorial y señala que los procesos espaciales más característicos que se dan en la actualidad son los siguientes:

1. El proceso de urbanización se está desarrollando mayoritariamente en áreas periféricas en detrimento de la urbanización en el centro de la ciudad. Este proceso está impulsado por la descentralización de algunas actividades productivas y residenciales.
2. El crecimiento y expansión de la ciudad hacia espacios no metropolitanos cada vez más amplios está generando amplios desarrollos megalopolitanos y configurando estructuras urbanas policéntricas, formadas básicamente por ciudades pequeñas y áreas rururbanas inmersas en el nuevo sistema territorial.
3. Las ciudades medias se están convirtiendo en focos difusores de primera o segunda generación ya que se benefician de los efectos derivados de la descentralización del crecimiento y la innovación.

4. Aparición de áreas desfavorecidas, como consecuencia de los efectos de la desaparición de la industria en determinadas regiones o ciudades especializadas en actividades obsoletas. La reindustrialización y la reconversión industrial sirve para que algunas de estas ciudades en decadencia restablezcan su dinamismo; otras abordaron la transformación funcional de su base económica; pero la mayor parte no consigue superar la situación de declive y sus efectos afectan también a otras áreas próximas.
5. El predominio de actividades terciarias que afecta directamente al ritmo de crecimiento urbano y al mercado de trabajo (cuantitativa y cualitativamente), a la vez que tiene lugar una reestructuración tecnológica y productiva.
6. Los espacios de ocio se incrementan y se introducen nuevos modelos de desarrollo regional relacionados con una oferta cultural y ambiental en constante revalorización económica.
7. Las regiones rurales, más competitivas, se incorporan al sistema rururbano donde la expansión del potencial endógeno actúa como factor de reactivación económica con notables efectos multiplicadores en el sistema territorial.
8. Las áreas rurales menos desarrolladas que no logran ajustarse a los nuevos mercados experimentan un proceso regresivo en el que diferentes factores locales refuerzan su marginación mediante un efecto desactivador acumulativo.

Según A. Precado (1996) estos son algunos de los procesos territoriales que caracterizan las transformaciones del sistema territorial desde la etapa industrial a la postindustrial. La principal consecuencia espacial de todos estos procesos o subprocesos es la modificación de las relaciones centro-periferia.

El modelo centro- periferia no se ajusta a las condiciones específicas de la etapa actual. En el pasado las áreas centrales, regiones centrales o centros estaban formados por espacios dinámicos, mayoritariamente regiones urbanas que

concentraban procesos productivos finales, fundamentalmente derivados de la industrialización. Los espacios periféricos, por el contrario, agrupaban procesos iniciales de abastecimiento o primera transformación de recursos locales lo que hizo posible el nacimiento de actividades comerciales, de transportes e incipientes sistemas financieros (Precedo, A., 1996).

En la actualidad los nuevos procesos funcionales están generando una variación de los contenidos. *“La diferenciación que antes descansaba en potencial de crecimiento, ahora se establece en base a potencial de desarrollo. La clave fundamental reside en la capacidad tecnológica asociada entendida en su sentido más amplio y no restringida a los factores exclusivamente técnicos.”* (Precedo, A., 1996).

Las actividades productivas que cuentan con gran tecnología y servicios avanzados se localizan en las áreas o regiones centrales. En las periferias se relocalizaron las fases productivas rutinarias con escasa innovación tecnológica y/o procesos de fabricación que generaron impactos ambientales negativos. El turismo y otras actividades de ocio y tiempo libre se localizan igualmente en la periferia (Precedo, A., 1996).

En la actualidad, la realidad espacial es compleja debido a la aparición de múltiples subsistemas entre el centro y la periferia (subsistemas de transición que configuran espacios pericentrales, periferias interiores y periferias exteriores). El espacio es discontinuo y por ello, el nuevo modelo de desarrollo además de establecer un nuevo sistema espacial de relaciones adopta cada vez más una pauta espacial discontinua de naturaleza más estructural que espacial (Precedo, A., 1996).

El transporte por carretera es fundamental en el modelo territorial y metropolitano y muy importante también en la estructuración del sistema urbano

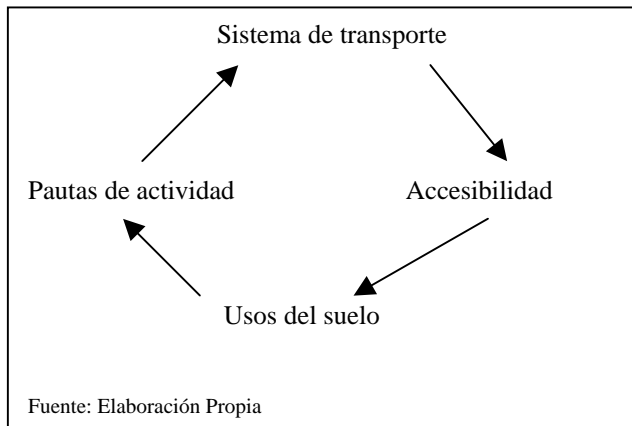
y en las relaciones que se mantienen en la ciudad. En un primer momento fue el ferrocarril y el tranvía los que determinan una expansión radial de la ciudad; posteriormente la generalización del uso del automóvil, al mismo tiempo que intensifica esta tendencia, contribuye a rellenar de espacios que habían quedado libres en las vías radiales.

La estructura viaria y el transporte por carreteras (englobando aquí, carreteras, autovías, autopistas, autopistas orbitales) son elementos básicos para entender la división económica y social del espacio y la movilidad de la población.

En la actualidad los avances producidos en las telecomunicaciones (fax, teléfono e Internet fundamentalmente) están determinando que la población no tenga que desplazarse para trabajar (teletrabajo) y en un futuro cercano tampoco será necesario realizar desplazamientos para comprar o realizar otro tipo de actividades (bancarias, administrativas, de ocio, etc.); esto puede modificar enormemente las pautas de desarrollo de los sistemas urbanos. *“El conjunto de flujos telemáticos acentúa la dispersión residencial, refuerza las concentraciones urbanas y las jerarquías de ocupación espacial.”* (Telos, 1989, cit Seguí, J.M., y Petrus, J.M., 1991). Los trabajos pioneros en este sentido son pocos (Hanson, S., 1996, Giuliano, G., y Gillespie, A. 1997, Giuliano, G., 1998) y resultan insuficientes hoy en día para determinar como será la futura expansión de la ciudad.

El sistema de transporte condiciona la accesibilidad de las áreas urbanas. Esta interacción entre el sistema de transporte y la accesibilidad urbana, implica modificaciones e impactos en la renta y en los usos del suelo, permitiendo de este modo, el desarrollo de las actuales formas de producción de espacio (Taaffe, E.J., et al, 1996, Rodrigue, J.P., 1994). La interacción entre los transportes y los usos del suelo queda reflejada en la figura nº 6.

Figura N° 6: Interacción transportes y los usos del suelo



En este sentido, L. Wingo (1972) señaló que un buen sistema de transporte permite la movilidad de bienes y personas y la accesibilidad del territorio y que estos constituyen valores fundamentales para la cualificación del suelo. En la actualidad, cualquier toma de decisión que afecte al desarrollo futuro de las zonas metropolitanas debe analizar estos elementos. Por tanto puede señalarse que la planificación de los usos del suelo debe estar relacionada con la de los sistemas de transporte (Montes, C., 1995, Greene, D.L., y Wegener, M., 1997, Hai Yang, Q.M., et al 2000, Lane, R., et al 1975, Jun, M., 1999); sin embargo son muchos los autores que expresan que esta coordinación no se ha tenido en cuenta en la planificación, y las inversiones en política de transporte no han estado coordinadas con una política de planificación de los usos del suelo (Lawless, P., y Gore, T., 1999, Lawless, P., y Dabinett, G., 1995).

E.J. Taaffe et al (1996) señalan que a pesar de la importancia del transporte en los usos del suelo, también es necesario considerar la influencia de otros factores

como la aparición de externalidades, economías de aglomeración, cambios sociales y culturales, preferencias de la población, etc. (Filion, P., et al, 1999).

Los usos de suelo urbanos establecen una forma de identificación de los diversos tipos de asentamientos y las relaciones económicas y sociales mantenidas entre ellos. Las interdependencias entre los usos del suelo y actividades localizadas en la ciudad son elementos influidos por el transporte. Los espacios más accesibles y por tanto, los más codiciados son los que tienen un coste elevado y en consecuencia un uso más intensivo. Estos espacios suelen situarse en las zonas más céntricas de la ciudad (Segui, J.M., y Petrus, J.M., 1991).

La mayor parte de las calles y líneas principales de transporte convergen en el centro de la ciudad convirtiéndolo en el punto con mayor accesibilidad. Según nos alejamos el valor del suelo disminuye hacia la periferia y se genera una competencia por su ocupación entre las distintas actividades y elementos que estructuran la ciudad.

El transporte por carretera sirve de soporte al área metropolitana porque la accesibilidad que ofrece es básica para el desarrollo y expansión de las ciudades. El aumento de la accesibilidad permite:

- El incremento de las relaciones entre los elementos del sistema urbano.
- El aumento de movimientos pendulares.
- El desarrollo de áreas residenciales en la periferia de la ciudad debido por un lado a las mejoras en la infraestructura viaria periurbana (autopistas, autovías, suburbanos, etc.), destinadas a mejorar la fluidez del tráfico y por otro a la nueva concepción de bienestar del hábitat.

El transporte por carretera ha sido también determinante en las pautas de localización industrial dentro del área metropolitana. La localización de la

actividad industrial en la ciudad ha cambiado en los últimos doscientos años, aunque siempre ha estado determinada por el medio de transporte dominante en cada momento. La localización de las fábricas se situaba cerca de los canales navegables cuando el medio de transporte de mercancías más usual era el barco de vapor. Con la aparición del ferrocarril en el siglo pasado, las fábricas y los barrios industriales se localizaron en lugares próximos a las ciudades. Por último, las carreteras sustituyeron al ferrocarril como modo de transporte de mercancías y la localización de los modernos polígonos industriales, se halla próxima a las carreteras radiales y de circunvalación de la ciudad.

Las relaciones que se establecen entre el sistema de transporte y los usos del suelo son recíprocas, dinámicas y complejas; así lo revela el gran número de temas presentados en la conferencia sobre usos del suelo y transporte celebrada en Cambridge en Octubre de 1996. (Anas, A., 1998)

El transporte sirve para solventar las necesidades de conexión de las actividades económicas en el espacio, pero cualquier progreso en su capacidad puede producir un nuevo modelo en ese sistema de relaciones (VV.AA, 1991). Un ejemplo es el cambio en las actividades económicas y por tanto, en los usos del suelo producidos por la construcción de autopistas orbitales y por el reacondicionamiento de carreteras y autopistas ya existentes (Giuliano, G., 1986, Sutton, C.J., 1999, Linnerker, B., y Spence, N., 1996, Bryan, J., et al 1997, Gutierrez, J., 1999).

La estructura actual del uso del suelo urbano residencial se ve modificada por las innovaciones sucedidas en el sistema de transporte. Esta nueva estructura puede sintetizarse en los siguientes puntos (V.V.A.A., 1991):

1. El uso del suelo residencial se desplaza en mayor parte hacia áreas periféricas, por la existencia de otros usos urbanos más competitivos

(básicamente el sector terciario) que puede pagar las altas rentas derivadas de la localización en las zonas más céntricas de la ciudad.

2. Los centros de las ciudades conservan aún parte de sus edificios destinados a vivienda caracterizados por una gran heterogeneidad.
3. La expansión del uso residencial hacia la periferia, lugar donde el suelo es más barato y más abundante, no se realiza siempre de forma continua (mancha de aceite) sino que en algunas ocasiones este crecimiento tiene lugar a saltos. Las nuevas áreas residenciales de manera discontinua en colonias o ciudades dormitorio, localizadas en torno a las principales carreteras radiales generando un proceso de revalorización del espacio intermedio que dejan sin edificar.
4. Las nuevas áreas residenciales no son siempre homogéneas en cuanto a la calidad de la vivienda, ni en cuanto al nivel social de sus habitantes.
5. Las áreas residenciales de la población con un mayor poder adquisitivo se localizan en lugares con un entorno paisajístico atractivo, próximos a áreas de servicios de gran calidad, cerca de las principales líneas de transporte, etc. Por el contrario, las áreas residenciales correspondientes a la población con menor poder adquisitivo se caracterizan por localizarse en áreas de paisaje monótono, próximas a la industria pesada o focos contaminantes, lejos de servicios básicos etc.
6. La localización espacial de los usos de suelo residencial intraurbano debe ser analizada de forma dinámica y cambiante en el tiempo y no de forma estática.

La nueva estructura de los usos del suelo urbanos (residencial, industrial, comercial, ocio, etc.) impone grandes necesidades de desplazamiento de la población urbana, y este hecho, requiere que los trazados de las infraestructuras viarias, tanto interurbanos como intraurbanos, se encuentren acondicionados de manera que se mantenga la fluidez del tráfico a determinadas horas del día. La

construcción de grandes vías de circunvalación urbanas y la construcción de carreteras especiales que permitan tanto aumentar la velocidad como desviar los flujos de circulación de áreas ya congestionadas, son la respuesta a estas necesidades (Gutierrez, J., 1999).

Según J.M. Segui y J.M. Petrus J.M (1991) las autopistas, las autovías y las carreteras, proporcionan una integración regional que ha sido excesivamente valorada durante mucho tiempo. La construcción de estas infraestructuras de transporte ha sido un importante factor de dinamización de la actividad empresarial y económica. Estas infraestructuras permiten: aumentar la velocidad y reducir el tiempo empleado en los desplazamientos, incrementar la fluidez del espacio y disminuir progresivamente el coste de los desplazamientos. Estas ventajas benefician la movilidad interregional, junto con un incremento de la concentración de actividades económicas y de la población. Según J.M. Segui y J.M. Petrus (1991) estas concentraciones urbanas y las economías de aglomeración, *“parecieron actuar hasta los setenta como factor de atracción empresarial pues al aproximar espacios alejados permitían la ampliación de las áreas de influencia urbanas.”*

Por el contrario, actualmente, las grandes ciudades se ven gravemente afectadas, por problemas de congestión del tráfico por carretera. La construcción de nuevas vías rápidas es para muchos la solución o la alternativa Según P. Haggett (1988) con frecuencia estas mejoras son poco efectivas o duran poco tiempo. *“Tras la construcción de una nueva autopista (aumento de oferta) la demanda vuelve a verse estimulada por la reducción temporal del recorrido con lo que no tardan en reaparecer los anteriores problemas de saturación “* (Segui, J.M., y Petrus, J.M., 1991).

La construcción de autopistas de circunvalación en principio fue concebida para desviar el tráfico de las áreas más congestionadas de las ciudades; sin embargo,

muchas han terminado por convertirse en una parte esencial del sistema de autopistas y carreteras metropolitanas y sufren en la actualidad graves problemas de congestión de tráfico (Giuliano, G., 1986, Sutton, C.J., 1999).

La planificación del transporte por carretera en torno a las principales áreas metropolitanas y centros urbanos ha sido un tema ampliamente tratado y tenido en cuenta en los modelos urbanos (algunos ejemplos ya fueron mencionados en el apartado anterior sobre el desarrollo de modelos urbanos).

L. Wingo (1972) en su clásica obra sobre transporte y suelo urbano mostraba la interrelación entre el transporte y la organización espacial y asignaba al sistema de transporte urbano un papel decisivo en un modelo cuya finalidad estribaba en determinar la distribución de personas y el valor del suelo en las regiones urbanas.

L. Wingo (1972) señalaba que su labor era, *“determinar que características del transporte urbano son esenciales para el problema de la comprensión de cómo se distribuyen las unidades domésticas en las metrópolis, de cómo estas características se relacionan con otros aspectos cruciales de la organización urbana y de cómo las relaciones pueden convertirse en enunciados cuantitativos susceptibles de manipulación.”*

El modelo establecido por L.Wingo (1972) tomaba como interdependientes ciertas variables demográficas y económicas. Los supuestos correspondientes se expresaban mediante tres clases de parámetros que reflejan las condiciones políticas, técnicas y de mercado. El output estaba constituido por un conjunto de valores que expresen, para cada punto del espacio urbano, un valor y una densidad.

En la actualidad, la planificación del transporte por carretera en torno a áreas metropolitanas y centros urbanos trata de solucionar la situación de conflicto existente generada por la potenciación en los años sesenta y setenta del transporte por carretera en vehículo privado y a las soluciones parciales que supusieron la construcción de importantes redes de autopistas y autovías. Se han llevado a cabo importantes cambios en las políticas territoriales y de transporte, intentado detener el crecimiento de las grandes ciudades; frenando los programas de construcción de nuevas autopistas; introduciendo limitaciones al uso de vehículo privado; potenciando el transporte ferroviario (el tren de alta velocidad) y finalmente pretendiendo potenciar los medios de transporte más eficientes desde el punto de vista energético y de la contaminación (Spencer, A.H., 2000, Piron, V. 1996, Ambrosino, G., et al 1999).

En resumen, puede decirse que la política de transporte se ha centrado en la creación de importantes sistemas de transporte urbanos situados en las grandes áreas metropolitanas que facilitan la movilidad y posibilitan el crecimiento.

1.4.2. TRANSPORTE Y DESARROLLO URBANO EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Las pautas generales de la influencia que el sistema de transporte ejerce en el desarrollo urbano, comentadas en el apartado anterior, se reflejan de modo significativo en la Comunidad de Madrid aunque se observa un cierto desfase temporal frente a otras ciudades norteamericanas e incluso frente a algunas ciudades europeas.

Este desfase temporal puede relacionarse con la evolución de las ciudades españolas y concretamente con la ciudad de Madrid. El modelo de desarrollo

español resulta bastante atípico dentro del contexto europeo, presentando una posición intermedia entre los países de temprana industrialización (Inglaterra, Francia, EEUU) y los países subdesarrollados. La Revolución industrial se produce con retraso en España (excepto en Cataluña y el País Vasco) y esto, unido a otros factores, implica una demora de la evolución en todos los sentidos.

El presente trabajo no pretende realizar un análisis exhaustivo de las diferentes etapas de desarrollo urbano producidas en la Comunidad de Madrid, pero sí estimamos necesario señalar la importancia que ha tenido el transporte (únicamente la red viaria) en este desarrollo durante el siglo XX.

La red viaria ha centrado históricamente gran parte de los debates sobre el futuro de las grandes ciudades en general y de la Región de Madrid en particular. Los primeros esbozos de un Plan Regional madrileño realizados durante la II República muestran el carácter estructurante que tienen las infraestructuras de transporte en la ordenación del crecimiento urbano. Estas infraestructuras tienen una importancia determinante en la solución de problemas tales como la vivienda, la escasez de suelo, la expansión de la ciudad, etc.

La apertura de la antigua vía de Castilla, el ensanche de la Cuesta de las Perdices y de la carretera del Pardo, así como la prolongación de la Castellana son algunas de las propuestas de Indalecio Prieto, Ministro de Obras Publicas durante el bienio 1931-33, para favorecer y ordenar la expansión de la ciudad de entonces y cuya influencia ha sido determinante en la configuración del Madrid actual (Herrero, A., 1993).

La primera mitad del siglo XX aparece marcada por un doble proceso: en primer lugar está el ensanche espacio planificado y ya consolidado para la burguesía y en segundo lugar comienza a aparecer un urbanismo marginal sin ninguna planificación, compuesto por casas bajas y viviendas autoconstruidas, no sólo en

el municipio de Madrid (Cuatro Caminos, Ventas, Prosperidad, Guindalera, etc), sino también en los términos municipales colindantes (barrio de Tetuán en el municipio de Chamartín, Vista Alegre en Canillejas y Vicálvaro en el Puente de Vallecas).

Esta es la forma en la que se consagra un proceso esencial en la configuración de la forma y del espacio social de la ciudad de Madrid, la ciudad planificada al producir una vivienda inalcanzable para una parte de los inmigrantes con escaso poder económico, induce al desarrollo de la no ciudad, es decir, de colonias y barrios de casas bajas que surgen en torno a las vías radiales en el término municipal de Madrid y municipios contiguos. Este urbanismo marginal deja espacios intermedios sin edificar, que serán rellenados posteriormente produciendo un aspecto caótico en la trama urbana de la periferia actual de Madrid (Estébanez, J., 1990).

Entre 1948 y 1954 se produce la anexión al municipio de Madrid de trece municipios periféricos. El desarrollo urbano de la ciudad es continuo y compacto durante la primera mitad de siglo XX. La ciudad se extiende tentacularmente a través de los principales ejes radiales de comunicación, invadiendo los municipios inmediatos. Los fenómenos de suburbanización extensiva son aún limitados. Incluso los antiguos núcleos rurales, capitales de esa corona de municipios, siguen siendo entidades físicas perfectamente distinguibles y aún escasamente transformados.

El crecimiento tentacular y desordenado desborda los límites del municipio de Madrid y sienta las bases del fenómeno metropolitano. Este fenómeno se desarrolla durante la década de los sesenta y setenta a partir de la accesibilidad mínima proporcionada por las carreteras radiales interurbanas existentes, cuya capacidad se ve pronto desbordada.

En este sentido la formación de Madrid como Area Metropolitana, a diferencia de otras metrópolis de mayor grado de desarrollo y madurez, no ha sido un fenómeno inducido por un programa de actuación en infraestructuras de transporte. M. Simmons (1990, cit. Molina, M.,1993) señaló *“que el desarrollo de Londres ha seguido siempre a la creación de la infraestructura de transporte, la cual ha moldeado la forma en que la región londinense se ha expandido”* pero este proceso no encuentra similitud en el desarrollo de Madrid como región metropolitana.

La construcción de infraestructuras durante la década de los años sesenta y setenta estuvo por tanto dirigida fundamentalmente a mitigar en parte los enormes déficits generados por un crecimiento especulativo y desordenado, con situaciones inadmisibles desde la óptica de la movilidad en las principales ciudades dormitorio que se formaron. Las actuaciones en la red viaria se orientaron ante todo a ampliar y mejorar la capacidad de los principales ejes viarios radiales preexistentes, con ampliación de la sección transversal y la construcción de variantes en los núcleos de población cuyo crecimiento había transformado las carreteras interurbanas en ejes viarios urbanos (Getafe, Torrejón de Ardoz, Alcorcón, etc.)

Por tanto, las acciones no estaban encaminadas a moldear un determinado modelo de localización de las actividades, sino a resolver problemas urgentes de congestión e impacto en las comunidades locales.

Madrid ciudad une a las características de gran urbe (extensión, población y densidad) su carácter de capital de la nación. Estas razones implican una fuerte interdependencia entre el desarrollo urbano y su interconexión con el resto de la nación y el diseño, desarrollo y funcionalidad de la Red Arterial. Así pues debido al desarrollo urbano de Madrid tradicionalmente concéntrico y a la interrelación con el resto del país de desarrollo radial la red Arterial está constituida por una

serie de vías radiales y vías de circunvalación que concatenadas de forma adecuada, permiten la accesibilidad a los distintos puntos de la ciudad. El desarrollo de la red Arterial de Madrid se ha llevado a cabo en un periodo bastante dilatado que empieza a mediados de los sesenta cuando la Dirección General de Carreteras empieza sus estudios sobre la red arterial.

Este desarrollo comporta la adecuación de las carreteras radiales a la demanda de tráfico, convirtiéndolas en autovías o autopistas urbanas y la creación de una serie de cinturones que permiten un desarrollo ordenado y diversificado del tráfico para poder alcanzar con mayor facilidad el punto de destino limitando así en lo posible los viajes por el centro de la ciudad.

Las actuaciones efectuadas desde finales de los setenta y los primeros años de la década de los ochenta (presididos por la crisis económica) fueron similares a las de la etapa anterior centrándose en la ampliación de secciones de algunas carreteras radiales (N-V, N-IV, N-401) y en la construcción de variantes (Parla, Alcalá de Henares, etc.).

Las actuaciones viarias propuestas por el Plan General de Madrid derivadas en parte de la anterior Red Arterial no llegan a realizarse en los tiempos requeridos, ni tampoco se producen los desarrollos urbanos a ellos ligados.

Las relaciones entre las infraestructuras viarias y el desarrollo de Madrid como Área Metropolitana se han basado hasta mediados de los años ochenta en una adaptación de las infraestructuras al crecimiento urbano. Sin embargo, desde finales de los ochenta empiezan a observarse indicios de cambio basados en una tendencia a la dispersión del empleo terciario hacia localizaciones periféricas apoyadas únicamente en la red viaria existente, lo que implica a su vez una generalización del uso del automóvil privado.

El periodo que transcurre entre 1985-1990 está caracterizado por una gran expansión económica en el país. Como consecuencia se produce un crecimiento de la movilidad global, con el considerable incremento de la intensidad de circulación en las carreteras de la Comunidad de Madrid. En este incremento de la movilidad tiene un peso considerable la utilización del vehículo privado.

Los factores que han impulsado la mayor utilización del coche están relacionados en primer lugar con el nivel de renta que permite a las economías domésticas soportar el mayor coste del viaje en coche sobre el precio del transporte público y en segundo lugar las transformaciones socio-territoriales producidas en la Comunidad de Madrid.

La reactivación económica generó por tanto, dos procesos paralelos de fuerte intensidad acentuados entre los años 1987-1990: el aumento de la movilidad y un enorme crecimiento de la motorización. Estos aumentos pusieron de manifiesto la insuficiencia de las redes de transporte, tanto de carretera como de transporte público en las áreas centrales y en las periféricas (Comunidad de Madrid, 1991).

Las principales líneas de actuación llevadas a cabo por la Administración relacionadas con la red viaria consistieron en:

1. La transformación del carácter radial de la red creando para ello oportunas vías orbitales de distribución, que cumplan con la función de articular la red en su conjunto (Cierre por el noroeste de la M-30, terminación de la M-40 y construcción de la M-50).
2. La construcción de variantes y desdoblamientos en todos los ejes radiales materializados en:
 - Corredor de la N-I. La construcción de la variante de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes y la terminación del desdoblamiento de toda la carretera hasta Somosierra.

- Corredor de la N-II. Construcción de la nueva variante desde el Jarama hasta la M-40 y el nuevo acceso desde Coslada y San Fernando a la M-40 en Canillejas.
 - Corredor de la N- III. Construcción de la variante de Arganda del Rey
 - Corredor de la N-IV. Finalización del último tramo de la variante proyectada desde el Cerro de los Ángeles entre el distribuidor sur (M-40) y el nudo de la M-30
 - Corredor N-V. La construcción de la variante de la carreteras entre Móstoles y Madrid, atendiendo a los nuevos desarrollos urbanos previstos en Campamento.
 - Corredor N-VI. Ampliación de la capacidad de la vía con un carril más por sentido y la continuidad de las vías de Servicio junto con el desdoblamiento de la carretera de Castilla.
3. Por último hay que destacar también la importancia de la red nacional de autovías derivada del Programa de Autovías del Plan General de Carreteras 1984-1991, por el que la región de Madrid tendrá seis autovías radiales que conectarán con el conjunto del país.

Los elementos principales del esquema viario regional quedan configurados por los tres anillos distribuidores (M-30, M-40 y M-50), cuya función es la estructuración del territorio regional y evitar el paso por el centro de la metrópoli y en segundo lugar por las diversas autovías radiales que se completan con nuevas vías que permiten un “mallado” del territorio. En consecuencia se produce una elevada conectividad interna de las distintas periferias de modo que se facilita la configuración de mercados integrados de trabajo y servicios, estableciendo también relaciones de complementariedad entre ellas que permitirán reducir su dependencia del centro regional (Comunidad de Madrid., 1991)

La ejecución de las carreteras orbitales de circunvalación y las actuaciones realizadas en las principales vías radiales en la Comunidad de Madrid, configuran un modelo viario claramente radioconcéntrico que posibilita los principales movimientos de penetración al continuo urbano madrileño y que a la vez facilita la movilidad tangencial de distribución tanto a nivel urbano como interurbano.

La relación de nuevas localizaciones de centralidad se realiza aprovechando las tendencias de la actividad económica pero apoyándose claramente en la mejora y creación de nuevas infraestructuras de transporte. La descentralización y la consiguiente generación de nuevos centros de actividad están apoyados en general en las vías principales y en los tejidos urbanos ya existentes.

Estas nuevas centralidades de marcado carácter comercial, con una gran dependencia de la red viaria y un uso intensivo del automóvil permiten la aparición de un nuevo modelo de desarrollo urbano en Madrid (al igual que en la mayor parte de las metrópolis mundiales) que es el modelo policéntrico.

Según R. López (1994) el modelo policéntrico se ha convertido en la última década en el arquetipo dominante como forma de articulación de los cada vez más extensos espacios metropolitanos; *“Desde el punto de vista del soporte infraestructural este modelo es indisociable de la transformación de los antiguos esquemas viarios radiales, focalizados por un centro único, con conexiones tangenciales muy débiles a esquemas radioconcéntricos y progresivamente a las mallas viarias reticuladas donde la preeminencia del antiguo centro geométrico queda paliada por la complejidad y extensión de los territorios cubiertos por la red”*.

Esta breve evolución acerca de la influencia del transporte en el desarrollo urbano nos permite obtener las siguientes conclusiones:

1. Madrid ha experimentado un crecimiento a impulsos, a saltos según J.Estébanez (1990), durante todo el siglo XX. Estos saltos se han producido siguiendo las carreteras nacionales radiales afectando en primer lugar al término municipal de Madrid, en segundo lugar a los términos municipales más próximos y por último a los antiguos núcleos - cabecera de esos términos M. Aguilera (1986, cit. Estébanez, J.,1990). Este desarrollo a saltos produjo amplios espacios libres que se han rellenado (o continúan rellenándose) posteriormente produciendo una trama urbana heterogénea y caótica.

2. La ciudad de hoy día no tiene forma ni límites definidos precisos, hecho que se refleja claramente en Madrid. La ciudad tradicional se presentaba como una ciudad compacta y densa, claramente delimitada y con una forma precisa, fácil de reconocer, por el contrario la ciudad contemporánea se extiende sobre vastos territorios y está compuesta por fragmentos umbilicales relacionados entre sí por las redes arteriales comprensión clara de su estructura.

Según R. López (1993) *“El paisaje de la ciudad contemporánea tienen evidentes relaciones con las normas de comunicación actuales: los videoclips compuestos por una abrumadora sucesión rapidísima de imágenes incoherentes entre si o la propaganda subliminal de os brevísimos anuncios televisivos. Los fragmentos se agolpan ante las ventanillas del automóvil en una ininterrumpida secuencia de imágenes similares pero no idénticas de fugaces reconocimientos truncados, de esquivas visiones panorámicas”*.

3. La última conclusión que puede establecerse es la inexistencia de modelos gráficos de desarrollo urbano globales aplicados a la Comunidad de Madrid. Los estudios que existen, aun sin ser muy numerosos, están centrados en el municipio de Madrid y son modelos sociales: diferenciación residencial, áreas sociales, diferenciación social y funcional, etc. Los modelos más actuales se basan en

técnicas estadísticas complejas cuyos resultados son aplicados sobre unos contornos administrativos representados en muchos casos por el barrio.

En este sentido G. Lora-Tamayo (1990) diferencia dos tipos de estudios: un primer grupo formado por estudios de carácter general sobre aspectos de la diferenciación residencial y un segundo grupo compuesto por estudios más recientes y específicos en los cuales se analiza la diferenciación sociodemográfica de la capital empleando técnicas de análisis multivariante.

1. Estudios de tipo general. Entre estos estudios destaca:

* El *“Informe sociológico sobre la situación social de Madrid”* realizado en 1967 y patrocinado por la Fundación Foessa. Este informe realiza una división de la ciudad en áreas Históricas, Distritos y Zonas. Desde el punto de vista histórico se subdivide Madrid en tres áreas, Centro, Ensanche y Periferia con contrastes muy diferenciados. En cuanto a la subdivisión administrativa, los 12 distritos que componían la ciudad en esa fecha (60 barrios) contaban con una gran variedad de sectores urbanística y sociológicamente heterogéneos. Las características analizadas son referentes a población y las diferenciaciones espaciales más acusadas se producen entre las tres unidades históricas. Como conclusión de este estudio, se considera el municipio de Madrid claramente estructurado en cuatro grandes estratos sociales bien definidos y homogéneos: en primer lugar un Madrid acomodado (Salamanca, Chamberí, Arguelles); en segundo lugar un Madrid medio (Centro y Legazpi) ; en tercer lugar el Madrid pobre (Moratalaz, Tetuan, Ventas, Carabanchel, Canillas y Villaverde) y por último el Madrid indigente (Vallecas).

* Otro estudio es el realizado por Huetz de Lemps en 1973 basándose en la diferenciación clásica del municipio en tres áreas: Centro, Ensanche y Periferia. Este trabajo es puramente descriptivo y no analiza específicamente la

diferenciación residencial, sino que cubre otros aspectos de la estructura urbana (morfológicos y funcionales).

* Otro estudio es el realizado por A. Abellan en 1976 sobre la diferenciación demográfica de los distritos de Madrid. En este estudio se establece una diferenciación de los distritos de Madrid teniendo en cuenta la estructura por edad y sexo de la población a partir de los datos del censo de 1970.

* Por último, entre estos estudios de tipo general, destaca el de F. Chueca Goitia realizado en 1974 acerca de la diferenciación social de la capital basándose en la aplicación de los modelos clásicos de la Ecología Humana. Este autor fijándose en los patrones geométricos clásicos que representan la estructura social de las ciudades (fundamentalmente la teoría de zonas concéntricas de Burgess y la de sectores de Hoyt) ajusta la ciudad de Madrid a un “esquema mixto concéntrico-sectorial” en el que la parte norte está constituida socialmente por zonas de expansión radiales (sectores), mientras que la parte sur lo está por zonas concéntricas. Ambas se hallan separadas por un “eje social divisorio” formado por Puente de Segovia, Estación del Niño Jesús, calles Segovia, Colegiata, Magdalena, Moratín y Espalter y cortando parte del Retiro. Desde este eje al Sur comienza el Madrid de la clase baja, distribuido socialmente en zonas concéntricas hacia el Norte la estructura de Madrid se adapta casi perfectamente a un esquema radial por sectores de clases media y alta

2. Estudios empleando técnicas de análisis multivariante. Estos estudios abordan el tema de la diferenciación residencial de Madrid empleando un número mayor de indicadores y en unidades espaciales más pequeñas (el barrio). Entre estos estudios cabe destacar:

- El modelo de áreas sociales aplicado a Madrid por B. Jiménez Blasco en 1984 y 1986 mediante la aplicación de Componentes Principales.

- El estudio de diferenciación social y funcional del espacio de Madrid realizado por M. Castells en 1981 aplicando técnicas de análisis factorial.
 - Estudio de diferenciación residencial de Madrid realizado por A. del Campo Martín sobre las pautas espaciales de segregación social en la capital que se efectúa mediante la técnica Cluster.
4. Las nuevas técnicas cartográficas permiten la construcción de modelos gráficos de desarrollo urbano en el área urbana de Madrid. J. Córdoba está trabajando en esta línea y ha desarrollado el único modelo gráfico de desarrollo urbano que no se centra exclusivamente en la ciudad de Madrid (no incluimos la referencia exacta porque está sin publicar). El modelo se basa en las diferentes etapas de desarrollo urbano (mapa nº 1) las cuales han sido cartografiadas a escala 1:100.000. El modelo de desarrollo urbano de Madrid (mapa nº 2) refleja claramente que el crecimiento de la ciudad ha adquirido una forma sectorial; los espacios que quedaban vacíos entre los sectores se han ido rellenando, completando en forma de círculos perfectos en etapas posteriores.

El crecimiento entre los años 1960-1990 continúa siendo sectorial pero se observa que los sectores de crecimiento, que siguen las carreteras radiales, son muchos más amplios y que además algunos aparecen dispersos por toda Comunidad. También se advierte, fundamentalmente en la zona sur, como los espacios situados entre los sectores (carreteras radiales) se van completado en forma de círculo.

El crecimiento producido desde los años 1990 presenta dos características:

1. Continua cerrando o completando los círculos entre las carreteras radiales. Este crecimiento impulsado por la construcción de las carreteras orbitales.

2. Dispersión del crecimiento por toda la Comunidad en forma de puntos concretos que en principio no siguen ningún orden. Este crecimiento debe ser Explicado acudiendo a teorías procedentes de otras ciencias como es la teoría de los fractales.

PARTE II
GENERACIÓN DE LA INFORMACION PARA EL
MODELO

CAPÍTULO 2

CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS sobre la INFORMACIÓN DIGITAL

Este capítulo describe los aspectos generales que son utilizados como punto de partida para todo el desarrollo de este trabajo.

Este trabajo parte en primer lugar de la utilización de una serie de imágenes procedentes de diversos satélites y sensores, las cuales nos sirven como punto de partida para poder estudiar los fenómenos relacionados con el desarrollo urbano y la influencia que tienen las infraestructuras de transporte en este desarrollo (en nuestro caso las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid).

Las imágenes de satélite utilizadas en este trabajo deben ser procesadas por una serie de programas informáticos especializados que permitan su tratamiento y su posterior salida cartográfica.

Las imágenes de satélite son el punto de partida para el desarrollo de este trabajo pero además es necesaria información cartográfica de la Comunidad de Madrid en formato digital (mapa de ocupación del suelo procedente del proyecto *Corine Land Cover*, Base Cartográfica Numérica a escala 1:200.000 y modelo digital del terreno). Esta información tras su procesamiento, permite realizar algunos tratamientos a las imágenes de satélite (por ejemplo, cortar las imágenes por el contorno exacto de la Comunidad de Madrid) o ser incorporada como una capa más de información para los análisis.

2.1. TELEDETECCIÓN Y APLICACIONES URBANAS

2.1.1. EVOLUCIÓN DE LA TELEDETECCIÓN

La Teledetección entendida en sentido amplio como la técnica que permite obtener información de un objeto a distancia, no es una disciplina nueva. Las primeras aplicaciones datan de 1859 fecha en la cual se obtienen las primeras fotografías aéreas desde un globo (Chuvieco, E.,1990), produciéndose un amplio desarrollo a partir de la Segunda Guerra Mundial.

En Octubre de 1957 se lanzó el primer satélite artificial soviético (SPUTNIK1) y en 1959 se obtuvo la primera foto espacial de la Tierra transmitida por el Explorer-6 (Lopez, M.J. y Caselles.V., 1991).

La NASA puso en marcha varios programas durante la década de los sesenta. En 1960 lanzó el primer satélite meteorológico de la serie TIROS-1 (*Television and Infrared Observation Satellite*). Seguidamente en 1964 comenzó el proyecto MERCURY el cual consiguió gran cantidad de fotos espaciales y desde 1965 hasta 1969 estuvieron funcionando los proyectos GEMINI (fotografías espaciales para usos meteorológicos y geológicos) y APOLO (Chuvieco, E.,1990).

Durante la década de los setenta se ponen en marcha un gran número de satélites. El más importante por ser realmente el primero dedicado al estudio de los recursos naturales fue el ERTS-1 (*Earth Resources Technollogy Satellite*), lanzado en 1972 y que posteriormente fue denominado LANDSAT 1. El proyecto SKYLAB funcionó desde 1973 hasta 1979, proporcionando gran cantidad de fotografías e imágenes de la Tierra. En 1977 la Agencia Espacial Europea (ESA) puso en órbita el satélite meteorológico europeo METEOSAT

(en 1974 había sido lanzado su equivalente americano, el GOESS). La serie TIROS, también continuó en esta década con los satélites NOAA los cuales ampliaron sus fines a otros que no fueran únicamente meteorológicos. Otros satélites que también se pusieron en órbita en esta década fueron el SEASAT (1978) con aplicaciones oceanográficas, el Nimbus-7 para aplicaciones meteorológicas y oceanográficas y el HCMM con fines diversos fundamentalmente térmicos.

En la década de los ochenta aparecen nuevas misiones, entre ellas el satélite francés SPOT (*Satélite Probatoire d'Observation de la Terre*) en 1986, el japonés MOS-1 (*Marine Observation Satellite*) en 1987.

La década de los 90 destaca por el lanzamiento de un gran número de satélites caracterizados por la mejora de la resolución espacial, temporal y espectral e imágenes de radar (IRS1C, IKONOS, RADARSAT, etc.).

El año 1994 es importante debido a las decisiones adoptadas referentes a la resolución espacial. Estas decisiones suponen un gran avance y un salto importante en campo de la Teledetección.. Una directiva del gobierno Clinton da el visto bueno a compañías privadas para construir sistemas de satélite comerciales capaces de adquirir imágenes de alta resolución. No obstante el gobierno de Estados Unidos se reserva el derecho de tomar el control de adquisición y distribución de datos “*en periodos en que la seguridad nacional o las obligaciones internacionales y/o política exterior pudiera ser comprometida*” (Gutiérrez del Olmo, J., y Moreno, V., 2000)

Los últimos años se caracterizan además, porque no son únicamente las grandes agencias internacionales, nacionales o regionales (NASA National Aeronautics and Space Administration, NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration, ESA European Space Agency, NASDA National Space Development Agency of Japan, CNES Centre National d'Etudes Spatiales, CSA

Canadien Space Agency) las encargadas de desarrollar programas espaciales de observación de la Tierra, sino que aparecen nuevos operadores representados por grandes compañías aeroespaciales, naciones emergentes en el ámbito espacial y empresas de nueva creación que también están poniendo en marcha programas de observación de la Tierra (Lopez, M.J., y Denore, B.J., 1999). Estas misiones denominadas como micro y minisatélites que surgen como alternativa o complemento a los grandes programas van a permitir en un futuro no muy lejano responder a las necesidades de los diferentes usuarios, abaratando los costes; ejemplo de ello son las misiones UoSat-12, SunSat y KitSat lanzados en 1999 por iniciativa de pequeñas empresas vinculadas a centros universitarios. (Lopez, M.J., y Denore, B.J., 1999).

La preocupación por el análisis de las causas y consecuencias del cambio global (disminución de la capa de ozono, cambio climático, desertización, ascenso nivel del mar, pérdida de biodiversidad, urbanización acelerada, etc.), está haciendo que se pongan en marcha misiones científicas de observación de la Tierra lideradas por las grandes agencias espaciales de los países más avanzados. Entre ellas destacamos:

- ADEOS-MINORI. El satélite ADEOS (*Advanced Earth Observing Satellite*) denominado MINORI en Japón, es la primera plataforma internacional dedicada a la investigación medioambiental terrestre, desarrollada y gestionada por la Agencia Espacial Japonesa. Se puso en órbita en agosto de 1996 y su objetivo era proporcionar medidas de la atmósfera y la superficie terrestre y marina para el estudio de la pérdida de la capa de ozono, los gases efecto invernadero y el fenómeno “el niño”. El satélite dejó de funcionar en junio de 1997 y será reemplazado por el ADEOS II (NASDA, 2000).
- Earth Observation System EOS (NASA). Este programa consiste en el desarrollo y puesta en funcionamiento de una serie de satélites polares de observación de la superficie terrestre, la atmósfera, el océano, y la biosfera.

Dentro de este programa (18 años) destacan tres misiones: Terra (EOS-AM), Aquoa (EOS-PM) y EOS-Chem. La primera de ellas se inició el 18 de diciembre de 1999 con el lanzamiento del satélite Terra 1 (NASA, 1999).

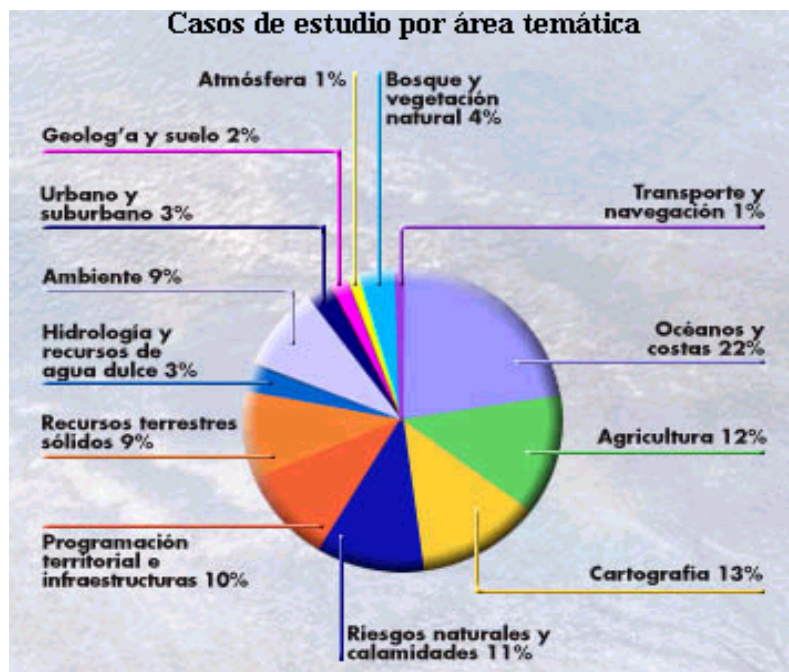
- Living Planet Programme/ENVISAT (ESA): El satélite ENVISAT es un proyecto de la Agencia Espacial Europea (ESA) que tiene previsto su lanzamiento en Junio del 2001 con una duración de cinco años. Los objetivos fundamentales son dar continuidad a las medidas del ERS-1 y ERS-2 para la circulación oceánica y cartografía de ecosistemas y contribuir a los estudios de las propiedades de la superficie terrestre, la química de la atmósfera, la distribución de los aerosoles y la biología marina (ESA, 1999).

La generalización de este tipo de imágenes y programas permite y va a permitir aún más en un futuro no muy lejano ampliar en gran medida el rango de estudios de Teledetección.

La evolución de la Teledetección no ha sido igual en todos los campos de aplicación. La figura nº 7 nos muestra las estadísticas de los “*Case Studies*” financiados por el programa CEO (Centre for Earth Observation, 1998) de la Comisión Europea. En esta figura podemos comprobar que las aplicaciones urbanas de las Teledetección son inferiores a otras áreas temáticas.

Concretamente la utilización de imágenes de satélite para estudios urbanos y de infraestructuras se ha visto muy condicionada por la resolución espacial de estas imágenes (las imágenes de mayor resolución tenían 10, 20, 30 metros); esta resolución no permitía realizar investigaciones a escala detallada necesarias para estudiar el espacio urbano.

Figura N° 7 : Estudios de Teledetección por área temática.



Fuente: CEO PROGRAMME, 1998

La escala máxima que podía obtenerse con resoluciones de 10, 20 y 30 m. hasta hace cinco o seis años (fecha en la cual empezaron a estar disponibles las primeras imágenes de 5 metros del satélite IRS-1C) era de 1:25.000. La tabla n° 2 muestra las escalas de trabajo óptimas según la resolución espacial de las imágenes de satélite.

Tabla N° 2: Escalas adecuadas según resolución espacial de las imágenes.

| RESOLUCIÓN ESPACIAL | ESCALA ADECUADA |
|---------------------|----------------------|
| 1000m | 1:1.500.000 |
| 30m | 1:100.000 – 1:80.000 |
| 20m | 1:50.000 |
| 10m | 1:25.000 |
| 5m | 1:12.000 |
| 1m | 1:2.000 |

Fuente: Elaboración Propia

La razón anteriormente señalada, es la causa por la cual los estudios de espacios urbanos realizados con imágenes de satélite han sido escasos (comparados con otros campos de aplicación) y muy específicos, centrándose en técnicas que ayuden a mejorar la clasificación de espacios urbanos (la variedad de respuestas espectrales en el medio urbano hace difícil obtener buenas clasificaciones digitales) o estudios de densidad de población o edificación, etc. pero siempre a escala poco detallada.

Es de esperar que en un futuro no muy lejano (3-5) años la mejora en la resolución espacial de los satélites (1, 2, 5 metros) que tienen previsto su lanzamiento aumente la posibilidad de realizar cualquier tipo de análisis urbano sin limitación de escalas y objetivos (ver la tabla nº 2 para comprobar la mejora en la escala de trabajo con resoluciones de 1 y 5 metros.). En este sentido es necesario destacar que la ampliación de estudios del espacio urbano no implica únicamente una mayor disponibilidad de imágenes de alta resolución sino que también deben mejorarse las técnicas o los algoritmos que permiten clasificar automáticamente los espacios urbanos.

Creemos necesario destacar que las previsiones de lanzamiento de satélites de alta resolución parecen no cumplirse adecuadamente y los investigadores dedicados a trabajar en espacios urbanos llevamos varios años a la espera de poder disponer de estas imágenes para nuestros estudios. Esta afirmación se desprende entre otras razones de la conferencia celebrada en 1995 “*Land Satellite Information in the Next Decade*” (A.S.P.R.S. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1995) en la cual se mencionaba el gran número de satélites de alta resolución que en el plazo de 2-3 años iban a estar disponibles; pues bien estas previsiones, en la mayoría de los casos, no se han cumplido.

La tabla nº 3 muestra las previsiones de lanzamiento en el año 1995. Únicamente hemos incluido en esta tabla los satélites de mayor resolución espacial.

La tabla nº 4 reflejan las imágenes de alta resolución (al menos las más estándares) que se encuentran disponibles en la actualidad, pudiéndose comprobar realmente cual de estas previsiones se han cumplido.

La tabla nº 5 indica las previsiones actuales de próximos lanzamientos. Existen numerosas tablas con las previsiones de lanzamiento de este tipo de satélites en los próximos años. Debido a los retrasos producidos en la puesta en órbita de diferente satélites, estas tablas no nos parecen muy fiables aunque sí orientativas; por ello, la inclusión de esta tabla en este trabajo, no tiene como objetivo “tomar al pie de la letra” las fechas que aquí se presentan, sino comprobar realmente la importancia que pueden tener todas estas imágenes (debido a sus características en cuanto a resolución espacial) en el estudio de espacios urbanos a cualquier escala. En palabras de Christian Bernard director de estrategia de negocio de la empresa Spot Image “ *se estima que para el 2006 el 65% del mercado global de observación de la tierra serán imágenes de igual o mayor resolución que 1m*”. (Gutierrez del Olmo, J., Y V. Moreno, 2000)

La tabla nº 5 incluye únicamente los satélites de alta y muy alta resolución. Esta tabla se ha generado mediante la consulta de las páginas web de las diferentes empresas encargadas de comercializar estas imágenes.

Tabla N° 3: Satélites previstos en 1995.

| SATÉLITE | PAÍS | FECHA PREVISTA | SENSORES | RESOLUCIÓN ESPACIAL |
|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| IRS-1C | India | 1995 | Pancromático Multiespectral | 10 20 |
| RADARSAT | Canadá | 1995 | Radar | 8, 30, 100 |
| CBERS | Brasil/China | 1996 | Pancromático Multiespectral | 20 20 |
| ADEOS | Japón | 1996 | Pancromático Multiespectral | 8 16 |
| ALMAZ-2 | Rusia | 1996 | Radar | 5 |
| LEWIS | EEUU -NASA | 1996 | Pancromático Hiperespectral | 5 30 |
| CLARK | EEUU-NASA | 1996 | Pancromático Multiespectral | 3 15 |
| Early Bird | EEUU | 1996 | Pancromático Multiespectral | 3 15 |
| Quick Bird | EEUU | 1997 | Pancromático Multiespectral | 1 4 |
| SPOT-4 | Francia | 1997 | Pancromático Multiespectral | 10 20 |
| Orbview | EEUU | 1997 | Pancromático | 1 |
| CRSS | EEUU | 1997 | Pancromático Multiespectral | 1 |
| LANDSAT 7 | EEUU | 1998 | Pancromático Multiespectral | 15 30 |
| EOS AM-1 | EEUU-Japón | 1998 | Multiespectral | 15 |
| KOMSAT | Corea | 1998 | Pancromático | 10 |
| IRS-1D | India | 1999 | Pancromático Multiespectral | 10 20 |
| SPOT-5A | Francia | 1999 | Pancromático Multiespectral | 5 10 |
| EOS AM-2 LANDSAT 8 | EEUU | 2004 | Pancromático Multiespectral | 10 30 |
| SPOT-5b | Francia | 2004 | Pancromático Multiespectral | 5 10 |

Fuente: Conference Proceedings: Land Satellite Information in the Next Decade (1995)

Tabla N° 4: Imágenes de satélite actuales de alta resolución.

| SATELITE | PAIS | LANZAMIENTO | SENSORES | RESOLUCION ESPACIAL |
|-----------------|-------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| IRS-1C/D | India | 1995/97 | Pancromático Multiespectral | 5.8 23 |
| RADARSAT | Canadá | 1995 | Radar | 8,100 |
| SPOT-1/2/3 | Francia | 1986-90-93 | Pancromático Multiespectral | 10 20 |
| SPOT-4 | Francia | 1998 | Pancromático Multiespectral | 10 20 |
| LANDSAT 5 | EEUU | 1984 | Multiespectral | 30 |
| LANDSAT 7 | EEUU | 1999 | Pancromático Multiespectral | 15 30 |
| ERS 1/2 | Europa | 1991/97 | Radar | 30, 50 |
| SPIN-2 | Rusia | Periódico | Pancromático | 10 (TK-350) 2 (KVR-1000) |
| IKONOS | EEUU | 1999 | Pancromático Multiespectral | 1 4 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°5: Satélites previstos en el año 2000.

| SATELITE | PAIS | FECHA PREVISTA | SENSORES | RESOLUCION ESPACIAL |
|-----------------|-------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Quick Bird1 | EEUU | 2000 | Pancromático Multiespectral | 1 4 |
| Quick Bird2 | EEUU | 2000 | Pancromático Multiespectral | 1 4 |
| ARIES | Australia | 2001 | Pancromático Multiespectral | 10 30 |
| Resource 21 | EEUU | 2001 | Pancromático Multiespectral | 10 20 |
| RADARSAT 2 | Canada | 2001 | Radar | 3 m en banca C |
| Orbview 4 | EEUU | 2001 | Pancromático Multiespectral | 1 4 |
| Orbview 3 | EEUU | 2001 | Pancromático Multiespectral | 1 4 |
| ALOS | Japón | 2002 | Pancromático Multiespectral | 2.5 10 |
| SPOT 5 | Francia | 2002 | Pancromático Multiespectral | 5 10 |
| ALMAZ-1B | Rusia | 2005 | Pancromático Radar | 10 5-7m |
| EROS | Israel | | Pancromático | 1 |

Fuente: Elaboración Propia

2.1.2. LA TELEDETECCION APLICADA A ESTUDIOS URBANOS

Hemos mencionado anteriormente la escasez de estudios de espacios urbanos realizados con Teledetección, siempre comparándolos con otros campos de aplicación. Esta afirmación no significa en ningún momento que las imágenes de satélite no hayan contribuido al estudio de los sistemas urbanos. F. Dureau y Ch. Weber (1995) ponen de manifiesto algunos campos de aplicación (dentro de los sistemas urbanos) de estas imágenes: identificación de límites de áreas urbanizadas, cartografía de ocupación del suelo urbano, identificación cambios entre varios periodos, inventario de espacios verdes, estudios del medioambiente urbano, morfología urbana, estimaciones de población, estudios de densidad de población, producción de información socio económica, establecimiento de relaciones entre las características morfológicas de la ciudad y las características socio económicas de sus habitantes, etc.

En este apartado, se va a analizar la evolución que han sufrido estos estudios, en la medida que las características de las imágenes de satélite han ido modificándose. Nos vamos a centrar únicamente en aquellas imágenes de satélite que por su resolución espacial permitan la realización de estudios del espacio urbanos.

El lanzamiento de la serie de satélites LANDSAT en 1972 marca un hito importante en el comienzo de los estudios urbanos realizados mediante imágenes de satélite. Hasta esa fecha, los estudios sobre espacios urbanos, eran llevados a cabo mediante fotografía aérea.

La utilización de fotografías aéreas para el análisis de espacios urbanos presenta ventajas e inconvenientes si lo comparamos con la utilización de imágenes de satélite entre otras:

- Una sola imagen LANDSAT, cubre toda la Comunidad de Madrid, por el contrario para cubrir la totalidad de la Comunidad de Madrid con fotografía aérea son necesarias un gran número de fotos dependiendo de la escala.
- La disponibilidad de imágenes de satélite de forma periódica, hace más dinámicos y actuales los estudios relacionados con fenómenos de evolución y transformación del espacio urbano.
- El estudio de fenómenos urbanos dinámicos no puede realizarse con imágenes de satélite con anterioridad a 1972; por el contrario disponemos de fotografías aéreas de toda la Comunidad de Madrid desde 1956. Vuelo a escala 1:30.000.
- Las escalas de trabajo son mayores si se utiliza fotografía aérea (hasta la disponibilidad de las imágenes de satélite de 5, 1 y 3 metros), debido a la existencia de vuelos a numerosas escalas. 1:30.000, 1:18.000, 1:5000 etc.
- La clasificación digital de espacios urbanos ahorra mucho trabajo de fotointerpretación y trabajo de campo; pero existen dificultades de clasificar automáticamente estos espacios debido a la gran variedad de respuestas espectrales existentes en la ciudad.

Antes de comenzar con el análisis de los principales estudios de Teledetección aplicados a estudios urbanos, es conveniente señalar uno de los proyectos más importantes que se está realizando actualmente dentro del programa CEO (Centre for Earth Observation) de la Comisión Europea: el proyecto MURBANDY *Forecast Project Monitoring Urban Dynamics* (<http://murbandy.sai.jrc.it>).

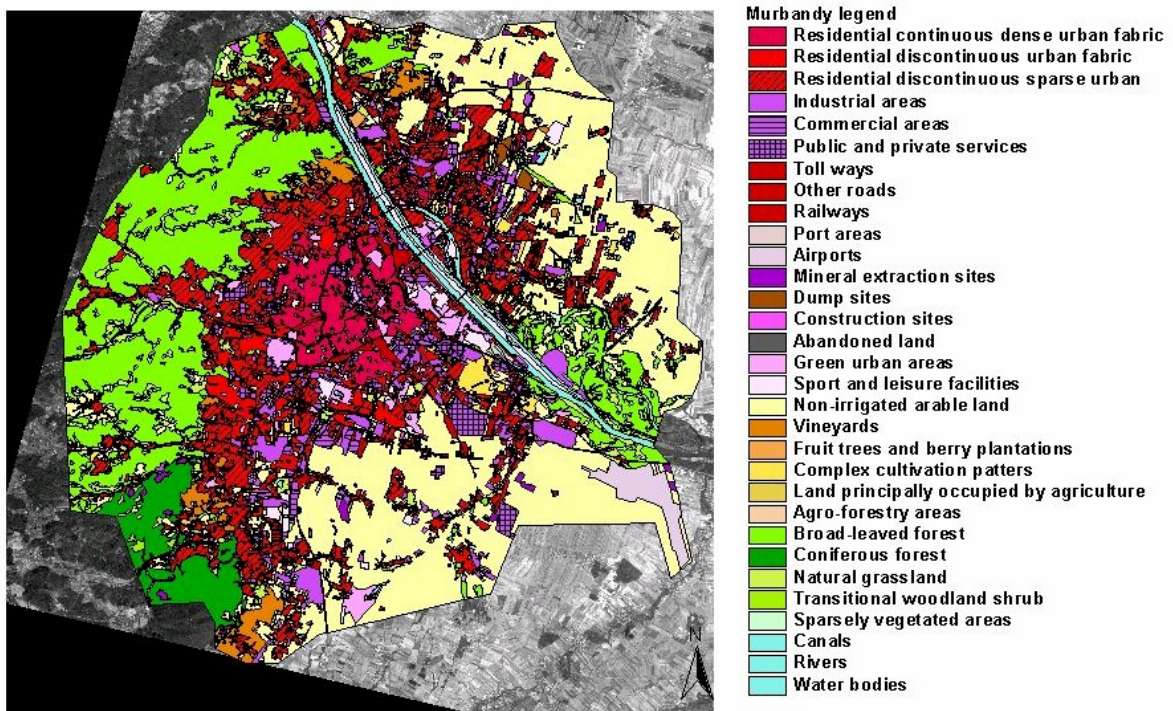
El proyecto MURBANDY tienen como objetivos principales:

- Establecer cambios de usos del suelo en las ciudades europeas
- Desarrollar indicadores urbanos y medioambientales que ayuden a explicar el dinamismo y el impacto que las ciudades tienen en el medio ambiente.
- Elaborar escenarios (modelos) de crecimiento urbano.

Este proyecto pretende realizar una cartografía de usos de suelo a escala 1:25.000 de 24 ciudades europeas en tres periodos: mediados de los años 50, finales de los años 60 y años 80. Para realizar esta cartografía se utilizan imágenes del satélite indio IRS 1C e imágenes de satélite antiguas y fotografías aéreas.

Un ejemplo de esta cartografía en la ciudad de Viena aparece en la figura nº 8.

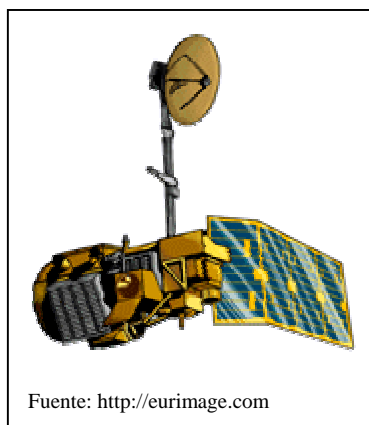
Figura N° 8: Proyecto Murbandy en la ciudad de Viena.



Fuente: (<http://murbandy.sai.jrc.it>)

2.1.2.1. Imágenes LANDSAT

Figura N° 9: Satélite LANDSAT 4-5.



El satélite LANDSAT es un satélite de Estados Unidos. La empresa encargada de este satélite es Earth Observation Satellite Company (EOSAT) la cual fue creada por el gobierno de Estados Unidos para comercializar las imágenes de este satélite. Actualmente esta empresa, se ha asociado con otras y se denomina Space Imaging (<http://www.spaceimaging.com>)

El primer satélite de la serie ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*), denominada posteriormente serie LANDSAT, (LANDSAT 1) fue lanzado el 23 Julio 1972; a este le siguieron otros seis satélites (LANDSAT 2,3,4,5,6,7). La tabla n° 6 indica las fechas exactas del lanzamiento de estos satélites.

La primera generación de estos satélites LANDSAT 1-2-3 transportaba dos sensores:

1. *Return Beam Vidicom Camera* (RBV), sensor que dio bastantes problemas y fue poco utilizado.
2. *Multispectral Scanner* (MSS)

La segunda generación comienza en 1982 con el lanzamiento de LANDSAT 4 (figura nº 9) el 16 de Julio de 1984 el cual incorporaba el sensor *Thematic Mapper* (TM) en adición al sensor MSS

Posteriormente en 1993 se produjo el lanzamiento del satélite LANDSAT 6 pero éste se perdió en el espacio después de su lanzamiento.

La tercera generación de estos satélites comienza con el lanzamiento de LANDSAT 7 el 15 de Abril de 1999. Este satélite incorpora un nuevo sensor (ETM *Enhanced Thematic Mapper*) similar al TM aunque con algunas mejoras: contiene una banda pancromática con una resolución espacial de 15m. y mejora la resolución espacial a 60m en la banda térmica (banda 6).

Tabla Nº 6: Operatividad y sensores de los satélites LANDSAT.

| | LANZAMIENTO | SENSORES | FUERA DE SERVICIO |
|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|
| LANDSAT 1 ERTS1 | 23 Julio 1972 | RBV MSS | 6 Enero 1978 |
| LANDSAT 2 ERTS2 | 22 Enero 1975 | RBV MSS | 27 Julio 1983 |
| LANDSAT 3 ERTS3 | 5 Marzo 1978 | RBV MSS | 7 Septiembre 1983 |
| LANDSAT 4 | 16 Julio 1982 | MSS TM | |
| LANDSAT 5 | 12 Marzo 1984 | MSS TM | |
| LANDSAT 7 | 15 Abril 1999 | ETM+ HRMSI | |

Fuente: Elaboración propia

Las características técnicas referentes a la resolución espacial, resolución temporal, resolución espectral y tamaño de la imagen, aparecen resumidas en la tabla nº 7.

Tabla N° 7: Características técnicas de los satélites.

| SATELITE SENSOR | RESOLUCION ESPACIAL (m) | RESOLUCION ESPECTRAL (nm) | RESOLUCION TEMPORAL (días) | TAMAÑO IMAGEN Km |
|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| LANDSAT MSS (1-2-3) | 79*79 | B1: 0.5-0.6 B2: 0.6-0.7 B3: 0.7-0.8 B4: 0.8-1.1 | 18 | 185*185 |
| LANDSAT TM (4-5) | 30*30 120*120 | B1: 0.45-0.52 B2: 0.52-0.60 B3: 0.63-0.69 B4: 0.76-0.90 B5: 1.55-1.75 B6: 10.40-12.50 B7: 2.08-2.35 | 16 | 185*185 183*172 |
| LANDSAT TM 7 | 15*15 30*30 60*60 | PAN: 0.52-0.9 B1: 0.45-0.52 B2: 0.52-0.60 B3: 0.63-0.69 B4: 0.76-0.90 B5: 1.55-1.75 B6: 10.40-12.50 B7: 2.08-2.35 | 16 | 183*183 |
| SPOT 1-4 | 10*10 20*20 | PAN: 0.51-0.73 XS1: 0.50-0.59 XS2: 0.61-0.68 XS3: 0.79-0.89 4I (Spot 4) : 1.58-1.75 | 26 | 60*60 |
| ERS 1-2 | 30*30 | RADAR | 35 | 100*100 |
| JERS | 18*24 | BANDA L (SAR) B1: 0.52-0.60 B2: 0.63-0.69 B3: 0.76-0.86 B4: 0.76-0.86 | 44 | 75*75 |
| RADARSAT | 8 a 100 | RADAR | 24 | 50 a 500 |
| IRS 1C-1D PAN | 5.8*5.8 | PAN: 0.50-0.75 | 24 | 70*70 |
| IRS 1C-1D LISS 3 | 23*23 70*70 | B2: 0.52-0.59 B3: 0.62-0.68 B4: 0.77-0.86 B5: 1.55-1.70 | 24 | 141*141 148*148 |
| IRS 1C-1D WIFS | 188*188 | B3: 0.62-0.68 B4: 0.77-0.86 | 5 | 810*810 |
| IKONOS | 1*1 4*4 | PAN: 0.45-0.90 B1: 0.45-0.52 B2: 0.52-0.60 B3: 0.63-0.69 B4: 0.76-0.90 | 2.9 | 11*11 |

Fuente: Elaboración Propia

Las características comerciales referentes a la empresa encargada de operar el satélite, la empresa que distribuye las imágenes en España y el precio aproximado de las imágenes, aparecen resumidas en la tabla nº 8.

Las tablas nº 7 y 8 se han realizado mediante consultas de páginas Web de diferentes empresas, con alguna de la bibliografía mencionada y con bibliografía específica (CNES, 1999).

Tabla Nº 8: Características comerciales de las imágenes de satélites.

| SATELITE SENSOR | EMPRESA PROPIETARIA Dirección web | EMPRESA ESPAÑA Dirección web | PRECIO APROXIMADO |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| LANDSAT MSS | Space Imaging/ EOSAT http://spaceimaging.com | INTA | 32.000 Pts. |
| LANDSAT TM | Space Imaging/ EOSAT http://spaceimaging.com | INTA | 240.000 pts. |
| LANDSAT TM 7 | Space Imaging/ http://spaceimaging.com | INTA | 120.000 pts |
| SPOT | Spot Image http://spotimage.com | AURENSA http://aurensa.es | Oscila 430.000 pts 650.000 |
| ERS 1-2 | ESA (Agencia Espacial Europea) http://esa.it | INTA | VARIABLE |
| JERS | RESTEC http://restec.or.jp | INTA | Oscila 175.000 y 240.000 Pts. |
| RADARSAT | RADARSAT http://rsi.com | AURENSA http://aurensa.es | 3000\$ |
| IRS | GAF/EUROPAMAP http://gaf.de/euromap | INTA AURENSA http://aurensa.es | PAN: 416.000 Pts WIFFS: 129.000 LISS:450.000. Pts. |
| IKONOS | Space Imaging/ http://spaceimaging.com | INTA???? AURENSA http://aurensa.es | 29\$/Km2 |

Fuente: Elaboración Propia

Muchos autores opinan que la clasificación de tipos de ocupación del suelo en medio urbano con imágenes MSS es inadecuada por la resolución espacial (Dureau, F., y Weber, Ch, 1995). A pesar de estas dificultades existen trabajos sobre espacios urbanos realizados con este tipo de imágenes.

Entre los principales estudios llevados a cabo con imágenes LANDSAT MSS para el caso español destaca un el estudio piloto realizado por R. Nuñez de las Cuevas, E. Chuvieco. J. Sancho. (1983). Estos autores aplican el tratamiento digital de las imágenes LANDSAT 2 a la confección de mapas de usos del suelo en la región Central. Estos autores señalan que una de las clases que establecen es la de núcleos urbanos y las dificultades existentes para diferenciarla claramente. Estas dificultades determinaron el que no siempre se lograra aislar ó diferenciar los núcleos urbanos.

Las imágenes MSS también han sido utilizadas para detectar cambios de usos del suelo en áreas urbanas (Gordon, S.I., 1980) y en márgenes rururbanos. (Martin, L.R.G., 1989)

El fenómeno del crecimiento urbano también ha sido estudiado con imágenes LANDSAT MSS. Este tipo de estudios se ha realizado en muchas ocasiones combinado imágenes LANDSAT MSS con imágenes de LANDSAT TM (Molina,G. Y Chuvieco, E. 1997).

Los estudios realizados con imágenes LANDSAT TM han sido muy numerosos, debido básicamente a la mejora de la resolución espacial con respecto a las imágenes MSS.

Imágenes LANDSAT TM se han utilizado para el estudio del espacio urbano en grandes ciudades (Casas Torres, J.M., y Chuvieco. E., 1987) y para cambios de usos del suelo en áreas urbanas (Moller-Jensen, L., 1990, Fahim, M.M., 1999)

Las imágenes LANDSAT TM han permitido realizar estudios de morfología urbana. Concretamente en España se han realizado estudios de morfología urbana del área metropolitana de Barcelona (Solé, L., y Serra, P. 1991 y 1993). Estos autores efectúan su estudio en imágenes TM 1985 y 1988 empleando técnicas (filtros) que ayuden a clasificar automáticamente las imágenes. A pesar de sus estudios, estos autores opinan que en general es escasa la experiencia en aplicaciones de imágenes de satélite al estudio interno de la ciudad y área metropolitana.

Otro tipo de estudios realizado con imágenes LANDSAT TM se han centrado estudios en la mejora de la clasificación en áreas urbanas (Moller-Jensen, L., 1990, Howarth, P.J., and E. Boasson, 1983). Relacionados con estos estudios están aquellos que pretenden extraer determinados elementos o características del espacio urbano difíciles de aislar si no es mediante el empleo de algoritmos específicos (Ji, M. and Jensen J.R., 1999, Zhang, Y., 2000,)

Las imágenes LANDSAT TM también se están utilizando para estudios de estructura y densidad urbana destinados a la elaboración de modelos urbanos. Estos autores combinan las imágenes (técnica) con nuevas teorías (fractales) para realizar modelos urbanos aplicados en las ciudades de Bristol (Longley, P., y Mesev, V., 2000) y Norwich (Longley, P., y Mesev, V., 1997). Este tipo de estudios se efectúa en ocasiones combinando imágenes LANDSAT TM con SPOT (Mesev, V., et al 1995).

Uno de los estudios piloto (Case Studies) financiados por el programa CEO de la Comisión Europea y realizado con imágenes LANDSAT ha sido la producción de un Atlas de Carreteras para Japón (CEO, 1998).

El mapa nº 3 muestra un ejemplo de imagen LANDSAT TM, de la Comunidad de Madrid.

No hemos encontrado estudios realizados con imágenes LANDSAT 7. Las razones pueden ser por el poco tiempo que llevan disponibles y en segundo lugar que son las empresas privadas o la Administración las que en la mayor parte de los casos pueden invertir continuamente en imágenes de satélite y sus trabajos en muchas ocasiones no aparecen publicados.

El mapa nº 4 muestra un ejemplo de imagen LANDSAT 7 de la Comunidad de Madrid. La escala en este caso es aproximada porque la imagen no está corregida geométricamente.

2.1.2.2. Imágenes SPOT

El programa de observación de la Tierra mediante los satélites SPOT (*Système Probatoire d'Observation de la Terre*) ha sido desarrollado por Francia con la participación de Suecia y Bélgica. La dirección del programa está a cargo del Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). La empresa encargada de las operaciones del satélite a nivel mundial es la francesa SPOT IMAGE (<http://spotimage.com>).

El primer satélite SPOT 1 se lanzó el 22 de febrero de 1986, el SPOT 2 el 22 de Enero de 1990, SPOT 3 el 26 de Septiembre de 1993 (falló a finales de 1996) y SPOT 4 el 24 de Marzo de 1998.

Los satélites SPOT tienen dos instrumentos de toma de la imagen HRV1 y HRV2 (*Haute Resolution Visible*) que funcionan de forma independiente. Estos instrumentos están dotados de espejos que pueden orientarse, permitiendo la visión oblicua, hacia el Este o hacia el Oeste, con un límite fijo de más o menos 27° de la vertical. Esta característica va a permitir por un lado la posibilidad de obtener imágenes estereoscópicas y en segundo lugar aumentar la frecuencia de

observación de las imágenes de 26 días a 2,3 días dependiendo de la latitud del punto de la Tierra observado (Spot Images, 1988).

El satélite SPOT 4 lanzado en marzo de 1998 incluye un sensor de alta resolución mejorado, el HRVIR que incorpora una nueva banda en el infrarrojo medio y sustituye la banda pancrómica del HRV por la banda del rojo que opera con una resolución de 20 y de 10m. El SPOT 4 además ha incorporado un nuevo sensor llamado VEGETATION, similar al AVHRR de NOAA, diseñado para el seguimiento diario de la cobertura vegetal del planeta a escala global y regional. Opera de forma independiente al HRVIR en 4 bandas espectrales (azul, rojo, infrarrojo próximo e infrarrojo medio). La resolución espacial es de 1Km. por 1Km. en el nadir y la franja de visión es de 2.250 Km. (CNES, 1998). Actualmente están activos tres satélites SPOT el SPOT-1 reactivado tras el fallo de SPOT-3, SPOT-2 y SPOT- 4

Las características técnicas referentes a la resolución espacial, resolución temporal, resolución espectral y tamaño de la imagen, aparecen resumidas en la tabla nº 7.

Las características comerciales referentes a la empresa encargada de operar el satélite, la empresa que distribuye las imágenes en España y el precio aproximado de las imágenes, aparecen resumidas en la tabla nº 8.

La resolución espacial de SPOT en modo pancromático (10m) supuso un cambio primordial en los estudios de espacios urbanos. El tipo de estudios, la temática, en muchas ocasiones no varía. El cambio más importante está en la escala de trabajo. La resolución espacial de 10m permite elaborar estudios a escalas detalladas.

Algunos estudios se encargan de poner de manifiesto las ventajas derivadas de la utilización de imágenes SPOT con respecto a imágenes LANDSAT TM y MSS (Colwell, R.N., 1985, Rimbart, S., 1988).

Las imágenes SPOT se han utilizado para estudios de crecimiento urbano (Ehlers, M., et al 1990, Pedron, C., 1988) y para el establecimiento de los límites del espacio rural (Gong, P., y Howarth, P.J., 1990).

En países que carecen de cartografía combinando la detección de áreas urbanas, de infraestructuras y la realización de estudios de tipología urbana son posibles debido a la utilización de imágenes de satélite. En Zaire se han empleado imágenes SPOT (PAN + XS) para lograr estos objetivos (Flouriot, F en Dureau, F., y Weber, Ch, 1995, Ikhuoria. I.A. 1999) emplea imágenes SPOT para determinar áreas de crecimiento urbano en Nigeria.

Al igual que ocurría con las imágenes LANDSAT en las imágenes SPOT también se han efectuando tratamientos específicos destinados a mejorar la clasificación de áreas urbanas. Ejemplo de ello es la utilización de índices texturales (Webster, C.J., 1995, Molina, Z., y Chuvieco, E., 1996).

Los temas relacionados con la cartografía han sido ampliamente desarrollados con imágenes SPOT. Ejemplo de ello son estudios de actualización de cartografía para su implementación en un Sistema de Información Geográfica (Jensen, J.R., 1994, Wang, J., 1992) o la cartografía de aptitudes para la urbanización en Sao Paulo combinando SPOT PAN más XS (Nascimento, I en Dureau, F., y Weber, Ch, 1995).

La Planificación de áreas urbanas (Assako, R.J., 1998), el impacto de diferentes infraestructuras (Lefevre, M.J., et al 1988) y las estimaciones de población (Desprats J.F., Dutartre P. en Dureau, F., y Weber, Ch, 1995) han sido otros de los temas de estudio realizados con imágenes SPOT.

Los Estudios piloto (Case Studies) financiados por el programa CEO de la Comisión Europea y realizados con imágenes SPOT (CEO, 1998) son:

- La actualización de mapas topográficos en Kenia elaborado por el Instituto Topográfico de Kenia.
- La actualización de estadísticas de aglomeración urbana realizado por la empresa SCOT CONSEIL para EUROSTAT
(<http://www.europa.eu.int/comm/eurostat/>)
- El inventario de una red vial y planeamiento de una autopista en Indonesia elaborado por la empresa GEOIMAGE.
- El seguimiento de la calidad ambiental en zonas urbanas en la ciudad belga de Namur.
- La selección de rutas y la evaluación del impacto de un proyecto de delineado de autopistas en la ciudad de Leguevin realizado por la empresa SPOT IMAGE
- El desarrollo del seguimiento urbano en áreas costeras realizado por la empresa GEOIMAGE para el Ministerio francés de Ambiente.

Ejemplos de imágenes SPOT de la Comunidad de Madrid aparecen en los mapas nº 5 (pancromático) y nº6 (multiespectral).

2.1.2.3. Imágenes KVR-1000, TK-350 MK-4, KFA-1000 (MIR), METRIC CAMERA

Siguiendo un orden cronológico, desde los años ochenta, disponemos de imágenes de satélite procedentes de diversas cámaras. La mayor parte de ellas proceden de cámaras que fueron instaladas a bordo de satélites rusos. Estas imágenes tienen una alta resolución espacial (tabla nº 9) y podrían haber sido

ampliamente utilizadas para estudios del espacio urbano, sin embargo no ha sido así debido entre otras a las siguientes razones:

- Son misiones de corta duración, que en muchas ocasiones no tienen continuidad, por ello no existen imágenes de todas las áreas geográficas y menos aún de diferentes fechas.
- Muchas de las imágenes capturadas no están disponibles, se han perdido o no tienen suficiente calidad para ser tratadas.
- Su alto coste. Estas imágenes se venden por Km² y conseguir un área relativamente grande resulta altamente costoso (tabla nº 9).

Tabla Nº 9: Características técnicas y comerciales de las imágenes procedentes de cámaras

| | KVR-1000 | TK-350 | MK-4 | KFA-1000 | METRIC CAMERA |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|
| Año Lanzamiento | 1984 | 1984 | 1988 | 1990 | 1983 |
| Resolución Espacial (P) | 2-3m | 10m | 6.7m | 6.7m | 20-40m |
| Tamaño imagen Km. | 40*40 | 300*200 | 120*120 | 120*120 | 190*190 |
| Distribuidor Mundial | SPIN2 | SPIN2 | SPIN2 | SPIN2 | DLR |
| Distribuidor España | INTA | INTA | INTA | INTA | |
| Precio en Digital Pts | 154.440 Hasta 16Km ² | 247.320 Hasta 15Km ² | Variable | 277.990 | |

Fuente: <http://eurimage.com>, e INTA (NPOC)

Las imágenes obtenidas son películas en blanco y negro o en color (dependiendo de la cámara).

La TK-350 y la KVR-1000 son cámaras de alta resolución y ambas fueron instaladas a bordo de la serie de satélites COSMOS, que originalmente era un programa militar ruso. La cámara TK.350 ofrece la ventaja de poder trabajar en estéreo. La empresa encargada de operar estas imágenes es Sovinformsputnik y

la empresa encargada de su distribución a nivel mundial es SPIN2. (<http://www.spin2.com>)

La cámara MK-4 está montada en el satélite ruso RESURS-F2. Además de las imágenes pancromáticas, ofrece la ventaja de adquirir imágenes Multiespectrales con 10m resolución espacial. La empresa encargada de operar estas imágenes es Sovinformsputnik y la empresa encargada de su distribución a nivel mundial es SPIN 2.

KFA-1000 (MIR) consta de dos cámaras instaladas en el módulo KRISTALL de la estación espacial rusa MIR. Ofrece la capacidad de trabajar en estéreo. La empresa encargada de operar estas imágenes es Sovzond y la empresa encargada de sus distribución a nivel mundial es SPIN2.

Metric Camera es una cámara de alta resolución (Zeiss RMK A 30/23) instalada a bordo del Space Shuttle.

Los estudios (en el ámbito de la investigación) realizados con este tipo de imágenes no han sido muchos, debido al coste y a la disponibilidad.

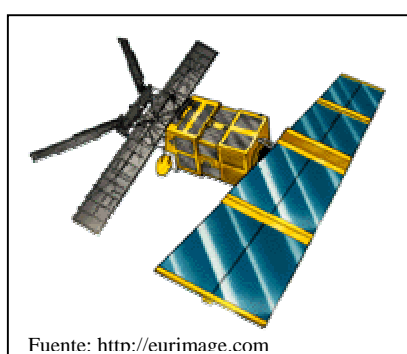
Los Estudios piloto (Case Studies) financiados por el programa CEO de la Comisión Europea y realizados con imágenes procedentes de cámaras anteriormente citadas son (CEO, 1998):

- La edición de mapas urbanos en Bélgica mediante imágenes de la cámara KVR-1000 realizado por el laboratorio SURFACES de la Universidad de Lieja para la empresa belga TELE ATLAS.
- La cartografía y seguimiento de nuevas edificaciones y nuevas carreteras en Chipre con imágenes de la cámara KVR-1000, elaborado por el Instituto Topográfico Militar de Gran Bretaña.

El mapa nº 7 muestra un ejemplo de imagen KVR 1000, de la Comunidad de Madrid. La escala es aproximada porque la imagen no está corregida geométricamente.

2.1.2.4 Imágenes ERS

Figura Nº 10: Satélite ERS 1-2



El satélite ERS (*European Remote Sensing Satellite*) (figura nº 10) es el primer satélite europeo desarrollado por la Agencia Espacial Europea (<http://www.esa.it>) El satélite ERS-1 fue lanzado el 25 de Julio de 1991 y el ERS –2 el 20 de Abril de 1995. La principal aportación de estos satélites es la incorporación de un radar de apertura sintética, SAR.

Dispone de varios sensores: *Active Microwave Instrument* (AMI), *Synthetic Aperture Radar* (SAR), *Wind Scatterometer*, *Radar Altimeter* (RA), *Along Track Scanning Radiometer* (ATSR), *Microwave Sounder* (MWR) y *Global Ozone Measuring Experiment* (GOME) con un gran rango de aplicaciones sobre todo oceanográficas (ESA, 1992 y 1993).

Las características de resolución temporal y espacial dependen de cada uno de los instrumentos incluidos en estos satélites, al igual que el precio de las imágenes oscila por la misma razón. Debido a ello en las tablas nº 7: “Características Técnicas de los satélites” y tabla nº 8: “Características

comerciales de las imágenes de satélite”, hemos generalizado bastante y hemos incluido únicamente aquellos aspectos que pueden interesar para los estudios de espacios urbanos realizados con estas imágenes.

No aparecen muchos trabajos aplicados a espacios urbanos realizados con este tipo de imágenes, aunque realmente la información que proporcionan acerca de la estructura urbana (densidad, materiales y orientación) resulte muy interesante para el análisis de estos espacios, sin olvidar una de las principales características de estas imágenes que es su alta penetrabilidad, permitiendo captar imágenes independientemente de las condiciones atmosféricas, es decir, en espacios que estén cubiertos por nubes durante una gran parte del año.

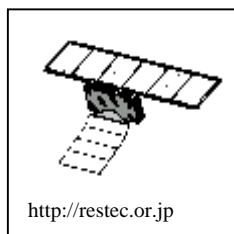
El Centro de Estudios Ambientales de Vitoria ha realizado un trabajo con imágenes radar en el cual se pretende analizar la complementariedad de los sensores radar (ERS-1 y 2) en la caracterización y planificación de áreas urbanas sobre un área piloto que es la ciudad de Vitoria-Gasteiz (Santiago, M. y otros, 1999).

Dentro de los estudios piloto (Case Studies) financiados por el programa CEO de la Comisión Europea únicamente hemos encontrado uno realizado con imágenes ERS que es el levantamiento topográfico de la Guyana francesa, centrado entre otros aspectos en la cartografía de áreas urbanas realizado por el Instituto Topográfico Francés y encargado por el Ministerio de defensa de Francia (CEO, 1998).

El mapa nº 8 muestra un ejemplo de imagen ERS, de la Comunidad de Madrid. La escala es aproximada porque la imagen no está corregida geométricamente.

2.1.2.5. Imágenes JERS-1

Figura N° 11: Satélite JERS



El satélite JERS-1 (*Japanese Earth Resources Satellite*) (figura n° 11) es un satélite japonés lanzado en febrero de 1992. La empresa encargada de operar el satélite es la japonesa RESTEC (<http://restec.or.jp>).

Transporta un radar de apertura sintética (SAR) y cuatro bandas que cubren la región del visible y del infrarrojo y tiene capacidad estéreo utilizando la banda 3.

Las características técnicas referentes a la resolución espacial, resolución temporal, resolución espectral y tamaño de la imagen, aparecen resumidas en la tabla n° 7.

Las características comerciales referentes a la empresa encargada de operar el satélite, la empresa que distribuye las imágenes en España y el precio aproximado de las imágenes, aparecen resumidas en la tabla n° 8.

No hemos encontrado ningún tipo de estudio aplicado a espacios urbanos realizado con este tipo de imágenes.

En este caso no disponíamos de ninguna imagen JERS de la Comunidad de Madrid, por ello hemos incluido en el mapa n° 9 la ciudad turca de Izmir (Eurimage, CD ROM A World of Applications).

2.1.2.6. Imágenes RADARSAT

Figura N°12: Satélite RADARSAT



RADARSAT (figura n° 12) es un satélite de observación de la Tierra desarrollado por el gobierno de Canadá. Fue lanzado en 1995 y la primera imagen capturada fue el 28 del 11 de 1995. Los datos son comercializados y distribuidos por la empresa canadiense RADARSAT Internacional Inc. (RSI) <http://www.rsi.ca>

El satélite Radarsat tiene una órbita circular, sincrónica al sol (amanecer-atardecer). Es decir, que el ángulo entre el plano orbital del satélite y la dirección del sol es constante. Esto asegura condiciones de iluminación constantes para datos obtenidos en la misma latitud en la misma época del año. Amanecer – atardecer, significa que el satélite cruza el ecuador al amanecer y al atardecer por tanto el satélite estará raramente en oscuridad y es capaz de obtener datos en cualquier momento (Radarsat, 1995).

Este satélite posee un sensor activo de microondas que permite la obtención de los datos totalmente garantizada independientemente de las condiciones meteorológicas e iluminación. Está equipado con un sistema de radar de apertura sintética (SAR) que tiene ángulos de incidencia seleccionables (ángulos de vista), es decir, se acomoda a una amplia gama de condiciones del terreno, aplicaciones y cobertura terrestre.

La resolución es seleccionable y depende de los modos de haz del SAR oscilando entre 10 a 100m; al igual que se puede seleccionar el ancho de barrido, de 50 a 500 Km según aparece reflejado en la tabla nº 10.

Tabla Nº 10: Variación resoluciones espaciales y ancho de barrido del Satélite RADARSAT

| Modo Del Haz | Ancho de Barrido (Km) | Resolucion Espacial m. |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Estandar | 100 | 25x28 |
| Barrido ancho | 150 | 25x28 |
| Resolución fina | 50 | 11x9 |
| ScanSAR angosto | 300 | 50x50 |
| ScanSAR ancho | 500 | 100x100 |
| Alta incidencia | 75 | 25x28 |
| Baja incidencia | 75 | 25x28 |

Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas referentes a la resolución espacial, resolución temporal, resolución espectral y tamaño de la imagen, aparecen resumidas en la tabla nº 7.

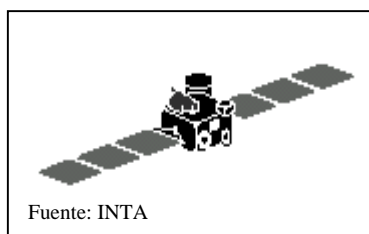
Las características comerciales referentes a la empresa que opera el satélite, la empresa que distribuye las imágenes en España y el precio aproximado de las imágenes, aparecen resumidas en la tabla nº 8.

No hemos encontrado aplicaciones urbanas realizadas con este tipo de imágenes aunque sus características si resultan adecuadas para este tipo de estudios.

El mapa nº 10 muestra un ejemplo de imagen RADARSAT, de la Comunidad de Madrid. La escala es aproximada porque la imagen no está corregida geométricamente.

2.1.2.7. Imágenes IRS

Figura N° 13: Satélite IRS



El programa IRS (*Indian Remote Sensing Satellite*), figura n° 13, forma parte del programa espacial de la India y del departamento del espacio del gobierno de la India. La utilización generalizada de las imágenes IRS ha comenzado a realizarse a partir del lanzamiento de la segunda generación de estos satélites, en el año 1995 (lanzamiento IRS-1C); sin embargo, con anterioridad a esta fecha también se disponía de imágenes IRS, aunque no para todas las áreas geográficas de la Tierra (India y Norte América en un principio). La evolución experimentada por los satélites IRS ha sido (NRSA, 1995 y <http://www.euromap.de>):

1. BHASKABA 1 y 2. Fueron dos satélites experimentales lanzados en Junio de 1979 y Noviembre de 1981. Disponían de cámaras de TV y radiómetros para la observación de la Tierra.
2. IRS1-A /IRS1-B. Estos satélites constituyen realmente la primera generación de satélites operacionales. Fueron lanzados en Marzo de 1988 y Agosto de 1991. Ambos constan de dos sensores LISS-1 y LISS-2 (*Linear Imaging Self Scanning*). Estos dos sensores disponían de cuatro bandas espectrales correspondientes al azul, verde, rojo e infrarrojo cercano, una resolución espacial de 72.5 y 36.25m respectivamente y una resolución temporal de 22 días. El tamaño de la imagen era de 148 Km. en el caso del sensor LISS-1 y 74 Km. en el sensor LISS-2.
3. IRS-P2. Lanzado el 16 de Octubre de 1994 en el vehículo PSLV-D2 y desarrollado por el Indian Space Research Organisation (ISRO). Los datos

proporcionados por este sensor son similares a los procedentes del sensor LISS-2 de IRS1A/IRS1B, variando exclusivamente el tamaño de la imagen que es de 67 Km.

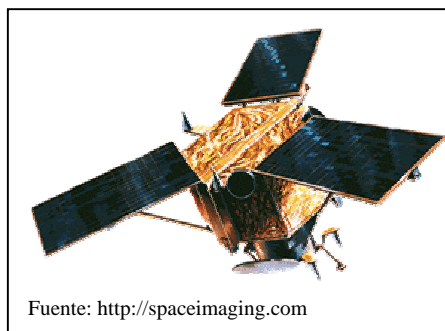
4. IRS-1C. Lanzado el 28 de Diciembre de 1995. Este satélite al igual que IRS 1D, está equipado con 3 sensores: uno pancromático (PAN) con una resolución espacial de 5.8m, el LISS-III que mejora la resolución espacial a 23,6m excepto en la banda del infrarrojo medio y el WiFS (*Wide Field Sensor*) con una banda en el rojo y otra en el infrarrojo próximo, útil para vegetación. Las características técnicas y comerciales de este satélite se detallan en las tablas nº 7: “Características técnicas de los satélites” y nº 8: “Características comerciales de las imágenes de satélite.”
5. IRS –P3. Lanzado el 15 de Febrero de 1996. Dispone de dos sensores, *Wide Field Sensor* WIFS (tres bandas espectrales, 188 m de resolución espacial, 5 días resolución temporal) y *Modular Opto electronic Scanner* (MOS) y un sensor para rayos X y astronomía.
6. IRS-1D. Lanzado el 29 de Septiembre de 1997. Las características técnicas y comerciales son iguales a las del IRS-1C y aparecen detalladas en las tablas nº7 y nº 8.

Las características de resolución espacial del satélite IRS 1C suponen un gran avance para el estudio de los espacios urbanos; por esta razón nos parece bastante sorprendente el no haber encontrado artículos publicados que utilicen este tipo de imágenes. La causa al igual que otros casos mencionados estriba en el alto coste de estas imágenes para la investigación no así para la empresa privada y la Administración que sí utiliza estas imágenes en sus trabajos.

El mapa nº 11 muestra un ejemplo de imagen IRS 1C, de la Comunidad de Madrid.

2.1.2.8. Imágenes IKONOS

Figura N° 14: Satélite IKONOS



El IKONOS (figura n° 14) es un satélite americano que fue lanzado el 24 de Septiembre de 1999 a bordo del vehículo espacial Athena II. La empresa encargada de operar este satélite es Space Imaging (<http://spaceimaging.com>). Este es el primer satélite comercial de alta resolución, aparte de las imágenes procedentes de los programas militares rusos, que como hemos analizado anteriormente también se encuentran disponibles.

Las características de resolución espacial (1m. pancromático y 4m. en multiespectral) hacen posible ampliar enormemente el rango de aplicaciones a escalas mucho más detalladas. Las características de resolución espectral en modo multiespectral son similares a las bandas 1-2-3-4 del LANDSAT 4 y 5.

Las características técnicas referentes a la resolución espacial, resolución temporal, resolución espectral y tamaño de la imagen, aparecen resumidas en la tabla n° 7.

Las características comerciales referentes a la empresa que opera el satélite, la empresa que distribuye las imágenes en España y el precio aproximado de las imágenes, aparecen resumidas en la tabla n° 8.

No han sido muchos los estudios de espacios urbanos llevados a cabo con imágenes procedentes del IKONOS, debido obviamente al poco tiempo que lleva en funcionamiento este satélite y evidentemente a su precio.

Las aplicaciones que hemos encontrado tratan temas de planificación del crecimiento de las ciudades y los impactos de infraestructuras en el estado de Montana (Jaffe, V., 2000) y UTAH (Miller, B., 2000). Es conveniente aclarar que ambos artículos aparecen en la revista *Imaging Notes* que es la revista que publica la empresa Space Imaging que es la encargada de la distribución a nivel mundial de las imágenes IKONOS.

G. Zhou y R. LI (2000) ponen de manifiesto las ventajas de las imágenes IKONOS en la toma de puntos de control unido a las posibilidades de mejorar los resultados de la corrección geométrica.

El mapa nº 12 muestra un ejemplo de imagen IKONOS de la Comunidad de Madrid. La escala es aproximada porque la imagen no está corregida geométricamente.

2.1.2.9. Otras imágenes

Este apartado engloba otro tipo de imágenes de satélite que también pueden ser utilizadas para estudios del espacio urbano. Dentro de estas imágenes pueden diferenciarse tres grandes grupos: Imágenes que se han utilizados ocasionalmente para estudios urbanos aunque su resolución espacial no sea la más adecuada; en segundo lugar un grupo integrado por imágenes de escasa difusión (por ello muy poco utilizadas) pero de resolución espacial adecuada para estudios urbanos y por último un tercer grupo formado por combinaciones de imágenes procedentes de diferentes sensores y satélites.

1. Imágenes de satélite de baja resolución espacial.

Las características espaciales de las imágenes NOAA normalmente no permiten su utilización para el análisis de áreas urbanas, pero sí han sido utilizadas para estudios de clima dentro de áreas urbanas (Meliá, J, Caselles, V. y López J.M., 1988, lo aplican a la ciudad de Valencia y López, A., 1993 a la ciudad de Madrid), por ello nos parece importante al menos hacer referencia a estas imágenes dentro de las aplicaciones de Teledetección al espacio urbano.

La utilización de las imágenes en infrarrojo térmico es de gran ayuda para determinar balances energéticos que resultan especiales en términos de emisividad de los materiales en el ámbito urbano. Estas imágenes han permitido diferenciar tres tipos de unidades en la ciudad: superficies asfaltadas, edificaciones y espacios verdes (Soriano, J., 1994).

2. Imágenes de escasa difusión.

El desarrollo sostenible y la conservación de la biodiversidad, basados en una buena gestión medioambiental, es un tema de gran preocupación para gobiernos y comunidades científicas. Los países en vías de desarrollo necesitan datos frecuentes fiables y accesibles a sus recursos. Los micro y minisatélites de pequeñas dimensiones y peso puestos en órbita por empresas privadas en colaboración con departamentos universitarios (López, M.J., y Denore, B.J., 1999). Entre ellos destacan:

- UoSat 12. Puesto en órbita el 21 de Abril de 1999 a bordo de un cohete militar ruso por la empresa SSTL (Surrey Space Technology Ltd.) con sede en el Reino Unido. La resolución espacial en modo pancromático es de 30m. y 10m. Esta empresa trabaja en colaboración con centros de desarrollo y agencias espaciales de países emergentes (Chile, Corea, Malasia, Pakistán etc.).

- SunSat 1. Este microsatélite constituye una misión sudafricana en operación desde el 23 de Enero de 1999, desarrollada por la universidad de Stellenbosch y subvencionada por la NASA. Está equipado con un sensor de alta resolución (HRI) que capta imágenes en tres bandas espectrales (verde, rojo e infrarrojo próximo). La resolución espacial es de 12,4 m. y la franja de barrido de unos 40 Km. El sensor es dirigible y permite la adquisición de pares estereoscópicos.
- KitSat. Esta misión es una serie de tres satélites coreanos puestos en órbita el 26 de Mayo de 1999. Está provisto de un sensor MEIS (*Multispectral Earth Imaging System*) un radiómetro de empuje de 3456 pixeles que capta imágenes en tres bandas espectrales (verde, rojo e infrarrojo cercano) con una resolución espacial de 15m y una franja de barrido de 50 Km.

3. Combinación de imágenes.

Otro tipo de imágenes muy utilizadas para el análisis de espacios urbanos son las procedentes de la combinación de diferentes tipos de sensores (LANDSAT TM y SPOT PAN, SPOT PAN y SOPT XS, LANDSAT MSS y LANDSAT TM, etc.). Este tipo de combinaciones tienen como objetivo conseguir una buena la resolución espacial (por ejemplo la de SPOT PAN ó IRS 1C) pero sin perder las características espectrales por ejemplo de LANDSAT TM ó de SPOT XS. Además en muchos casos se puede disminuir el tamaño del pixel (remuestrear el tamaño del pixel) a una resolución mayor de la que realmente tiene.

J. Moreno (1991) señalaba ya en 1991 que la integración de la información procedente de diferentes satélites iba a ser el método de trabajo en un futuro próximo. En esta integración debe tenerse en cuenta los diferentes aspectos técnicos que implica esta integración (Moreno, J., 1991, Moreno, J., Gandia, S., y Melia, J., 1993).

La combinación de imágenes MSS con TM y SPOT ha sido aplicada a estudios diacrónicos en regiones periurbanas (Weber CH y Petropoulou Ch en Dureau, F., y Weber, Ch, 1995).

Los ecosistemas urbanos en las grandes aglomeraciones de más de 100.000 habitantes a escala 1:25.000 se han estudiado combinando imágenes LANDSAT TM y SPOT PAN (Lenco, M en Dureau, F., y Weber, Ch, 1995).

La integración de imágenes SPOT y LANDSAT también se ha utilizado para la creación de ortoimágenes espaciales 1/50.000 del área metropolitana de la Comunidad de Madrid (Herrero, R., y S. Montesinos,. 1992 y 1993).

La integración de imágenes LANDSAT TM más SPOT y LANDSAT TM más IRS ha sido empleada en la caracterización y planificación de áreas urbanas (Santiago, M. y otros, 1999). En este estudio además de la integración de imágenes se emplea una técnica de clasificación, (clasificación por segmentos) que considera cada pixel, no como elemento aislado, sino teniendo en cuenta el entorno espacial en que se encuentra incluyendo criterios como la textura, contigüidad, forma y sombreado entre otros.

Los mapas nº 13 y 14 muestran ejemplos de este tipo de combinaciones para el caso de Madrid. La figura nº 13 representa la combinación de una imagen SPOT PAN y una LANDSAT TM, consiguiéndose una resolución espacial de 7m. La figura nº 14 representa la combinación de una imagen IRS 1C en pancromático más LISS. La escala en este caso es aproximada porque la imagen no está corregida geométricamente.

2.2. EQUIPO UTILIZADO

La hipótesis y los objetivos anteriormente explicados se han desarrollado con un marcado carácter práctico.

La complejidad de algunos procesos, el gran número de fuentes utilizadas, la diversidad de formato de las citadas fuentes y el elevado tamaño de los ficheros son entre otros, factores que determinan una buena selección de las herramientas con las cuales desarrollar este trabajo; es decir, implica una buena elección del equipo tanto de software como de hardware. Por esta razón vamos a comentar brevemente cuales son las principales características del hardware y del software utilizados para el desarrollo de este trabajo.

2.2.1. HARDWARE

El equipo informático utilizado (hardware), en este trabajo ha sido:

- **LECTORA DE IMÁGENES CCT:** Esta unidad es un periférico necesario para importar alguna de las imágenes de satélite utilizadas. Las primeras imágenes de satélite venían en un soporte especial (CCT) y era necesario disponer de este periférico para introducirlas en el ordenador. Esta unidad se ha utilizado concretamente para la imagen LANDSAT de 1987 que posteriormente fue pasada a formato CD-ROM, formato más manejable y más estándar actualmente. Para el resto de las imágenes e información adicional utilizada no fue necesaria esta unidad porque los dispositivos de almacenamiento de las imágenes ya habían evolucionado y el formato de las imágenes es CD-ROM.

- GRABADORA CD ROM. Las imágenes de satélite junto al resto de la información utilizada ocupan un gran volumen de información. Toda la información es imposible tenerla en el disco duro del ordenador, lo cual hace necesario la utilización de este periférico para poder almacenarla. El total de CD- ROM utilizados para almacenar toda la información (tanto la información de partida como la información generada) ha sido de 52.
- ESTACIONES DE TRABAJO UNIX. La diferencia de velocidad en el procesamiento de los datos era muy diferente entre estaciones de trabajo UNIX y los PC en el momento en que este trabajo comenzó a realizarse. Esta fue la razón por la cual la primera parte del procesamiento de los datos se llevó a cabo con estaciones UNIX de las marcas Sun Sparc, Silicon Graphics y HP.
- PC. Pentium II 350 Mhz. 128 MB RAM. 6,2 GB de disco duro y tarjeta gráfica SVGA AGP de 8MB. Windows 95. El avance en la velocidad de procesamiento de los ordenadores personales actuales (actualmente la totalidad de esta tesis doctoral puede realizarse con un ordenador personal normal) ha permitido realizar gran parte del procesamiento con un ordenador con las características mencionadas anteriormente.
- IMPRESORAS. La información cartográfica es una parte fundamental del desarrollo de esta tesis, por ello debíamos contar con impresoras de alta calidad que reflejaran óptimamente los resultados obtenidos. Las impresoras utilizadas han sido EPSON y NOVAJET.

2.2.2. SOFTWARE

En este punto nos vamos a centrar sólo en el comentario de los programas específicos (software) utilizados; es decir, los que nos permiten llevar a cabo el procesamiento y análisis de toda la información. Estos programas son los de tratamiento de imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica (ERDAS IMAGE) y programas que permiten la inserción de cartografía en Microsoft Word y la generación de bases de datos en Microsoft Excel (MAPSHEETS).

2.2.2.1. ERDAS IMAGE

Los programas específicos de tratamiento de imágenes de satélite y Sistemas de Información Geográfica disponibles en la actualidad son muchos y las características básicas de todos ellos son muy similares. Por esta razón no vamos a realizar un comentario de todos estos programas¹ y únicamente vamos a mencionar las fuentes de obtención de información de cada uno de ellos (sus páginas web). Hacemos referencia exclusivamente a la página principal de cada uno de los software mencionados si bien, debemos señalar que todos ellos disponen de representación en España y la información también puede obtenerse consultando las páginas web de cada empresa distribuidora en nuestro país.

Entre los programas más extendidos de tratamiento de imágenes de satélite podemos citar:

- ERDAS IMAGE (Página Web: <http://www.erdas.com>)
- ERMAPPER (Página Web: <http://www.ermapper.com>)

¹ Limp, W.F (1999) realizó un análisis detallado aparecido en la revista Geoworld, Volumen 12. Nº 5 de Mayo de 1999.

- ILWIS (Página Web: <http://www.itc.nl/ilwis.com>)
- PCI (Página Web: <http://www.pcigeomatics.com>)
- ENVI (Página Web: <http://www.rsinc.com>),
- IMAGE ANALYST (Página Web: <http://www.intergraph.com>)
- TNTmips (Página Web: <http://www.microimages.com>)
- IDRISI (Página Web: <http://www.idrisi.clarku.edu>)

Entre los programas de Sistemas de Información Geográfica podemos destacar:

- ARC/INFO (Página Web: <http://www.esri.com>)
- SMALLWORLD (Página Web: <http://www.smallworld.co.uk>)
- GENAMAP (Página Web: <http://www.genaware.com>)
- INTERGRAPH (Página Web: <http://www.intergraph.com>)

El procesamiento de todos los datos implicaba la elección de un software que permitiera:.

1. El tratamiento de la información procedente de las imágenes de satélite (formato raster²) y en segundo lugar procesar la información complementaria proveniente de otras fuentes digitales (formato vectorial³). Esta elección no es siempre fácil debido a los problemas generados por la incompatibilidad entre los distintos formatos de información.

² Los ficheros raster, registran información del interior de un objeto y sus límites quedan representados implícitamente. La estructura de los ficheros raster es similar a una rejilla o matriz donde cada posición de filas y columnas (X,Y) puede tener un valor Z que representa la altura

³ Los ficheros vectoriales, representan los objetos espaciales codificando sus “fronteras”, es decir, el límite o contorno que separa el objeto del entorno. Las líneas que actúan de fronteras son representadas mediante las coordenadas (X, Y) de sus vértices.

2. Otro problema estribaba en encontrar un software que combinara el procesamiento de imágenes de satélite pero que a su vez llevara incorporado un Sistema de Información Geográfica de tipo raster.
3. Necesitábamos un Sistema de Información Geográfica raster pero que también permitiera gestionar la información vectorial.
4. Por último y debido a la importancia de la cartografía en este trabajo pretendíamos que el software seleccionado tuviera posibilidades de realizar cartografía de buena calidad.

En el momento de comenzar a realizar este trabajo no había muchos programas que combinaran todas estas características y por ello, entre otras razones, se optó finalmente por elegir ERDAS IMAGE versión 8.2 y versión 8.3.(8.3.1 en PC) que cumplía plenamente todas nuestras necesidades. Actualmente se encuentra disponible la versión 8.4 pero ésta versión no ha sido utilizada.

Los problemas de incompatibilidad de formatos están resueltos porque ERDAS IMAGE 8.3 trabaja con ficheros raster y ficheros vectoriales:

- **Ficheros Raster.**

ERDAS IMAGE trabaja con ficheros raster de estructura propia con extensión *.img. Estos ficheros pueden ser continuos, temáticos, de una banda y de varias.

Los ficheros temáticos son aquellos que contienen información cualitativa. Es decir sus valores de fichero son siempre discretos y cada valor representa una característica concreta, por ejemplo, un tipo de uso de suelo.

Por el contrario los ficheros continuos contienen datos cuantitativos en forma de valores continuos. Las imágenes de satélite son ficheros continuos ya que pueden tomar cualquier valor dentro de los límites de su resolución radiométrica.

- **Ficheros Vectoriales.**

La estructura de un fichero vectorial en ERDAS-IMAGINE está basada en el tipo de datos ARC-INFO. Son coberturas ARC-INFO que se presentan en directorios de trabajo donde están tanto los ficheros con los elementos gráficos como los atributos asociados a estos elementos gráficos. Los tipos de datos que aparecen dentro de una cobertura son: puntos, líneas, polígonos y vértices.

Los puntos viene representados por un par de coordenadas (X,Y).

Las líneas representan un espacio geográfico lineal de una sola dimensión (ríos, carreteras).

Los polígonos están definidos por líneas cerradas que definen un área con características homogéneas. Contiene una etiqueta que identifica al polígono y lo asocia con sus atributos.

Los vértices son los puntos que definen las líneas (y por tanto también los polígonos).

Los vectores se expresan por las coordenadas de sus vértices. Normalmente estas coordenadas son de mapa y están referidas a algún sistema de proyección.

Los atributos pueden ser definidos como información guardada en una base de datos INFO donde se archivan las características de cualquier elemento del vector.

El segundo problema al cual nos enfrentábamos era la combinación en un mismo programa de proceso de imagen y Sistema de Información Geográfica. ERDAS IMAGINE 8.3 lo resuelve porque integra entre sus funcionalidades un Sistema de Información Geográfica raster que permite modelizar gráficamente los datos espaciales. (Ver características de este Sistema de Información Geográfica en la

descripción de ERDAS PROFESIONAL: modelización de datos espaciales por entorno gráfico).

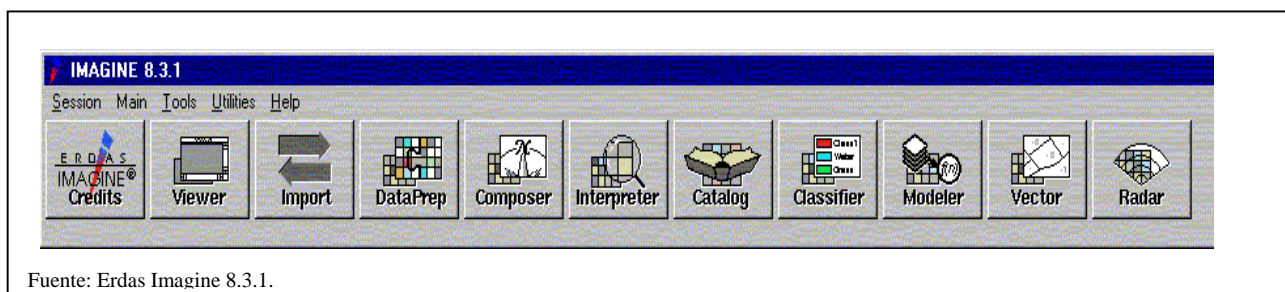
El módulo VECTOR de ERDAS IMAGE 8.3 solventaba otro de los problemas: la manipulación de ficheros en formato vectorial. (Ver características, en la descripción de ERDAS IMAGE ESSENCIAL : Análisis de Imagen y en los módulos adicionales módulo VECTOR).

Por último las posibilidades de generar cartografía de buena calidad también están resueltas en ERDAS IMAGE 8.3 mediante el MAP COMPOSER (Ver características, en la descripción de ERDAS IMAGE ESSENCIAL)

Nos vamos a centrar en explicar brevemente la estructura (principales funcionalidades y módulos) de la versión de ERDAS IMAGE 8.3. (figura nº 15) debido a que es la versión más actual que hemos utilizado y además porque guarda perfecta relación con la estructura de la nueva versión 8.4.

Consideramos que es importante realizar esta breve descripción porque en el desarrollo de los diferentes procesos realizados en este trabajo hacemos referencia a módulos o apartados específicos de este programa.

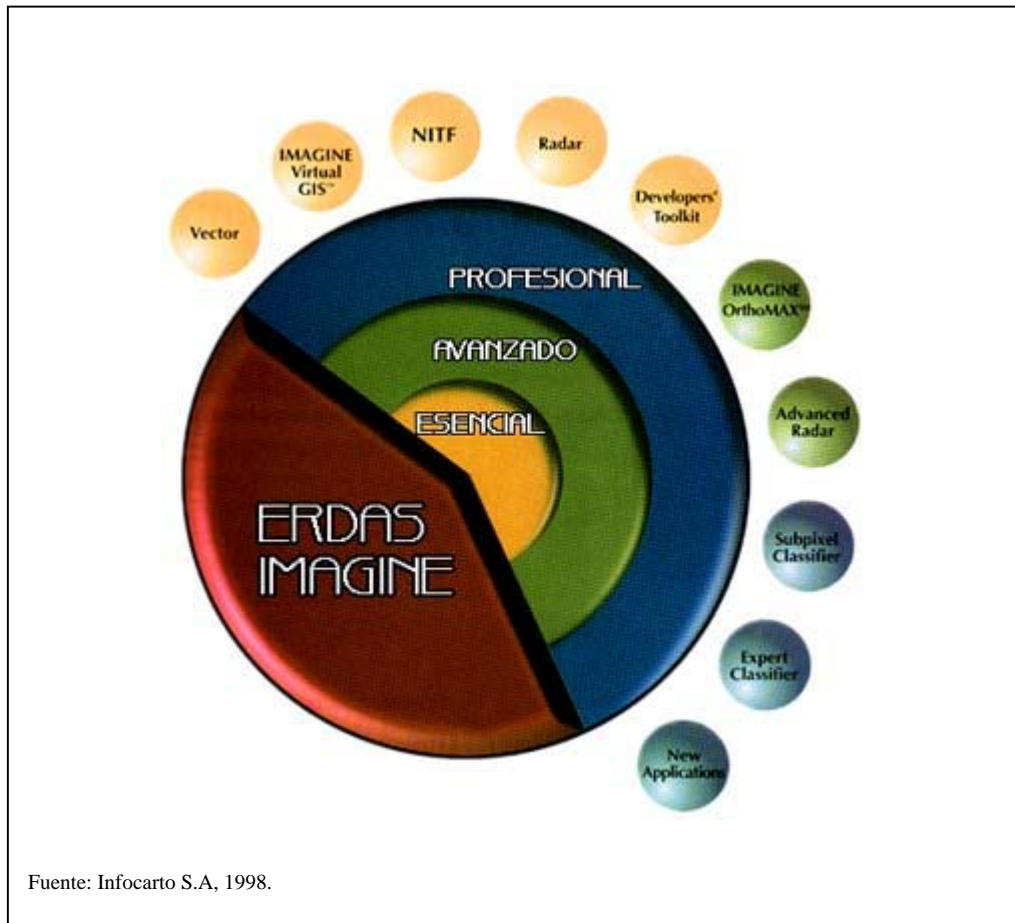
Figura Nº 15: Estructura ERDAS IMAGE 8.3.1



ERDAS IMAGE es un software de tratamiento digital de imágenes a la vez que integra un Sistema de Información Geográfica raster fácilmente compatible con sistemas vectoriales como ARC/INFO.

Este programa consta de varios módulos distribuidos según la figura nº 16

Figura Nº 16: Módulos de ERDAS IMAGE 8.3.1



En la figura nº 16 se puede apreciar que el programa está dividido en cuatro partes: *IMAGE ESENCIAL* (*ESSENTIALS*), *IMAGE AVANZADO* (*ADVANTAGE*), *IMAGE PROFESIONAL* (*PROFESSIONAL*) y módulos adicionales.

Las fuentes para describir las características de los diferentes módulos en los que está estructurado ERDAS IMAGE 8.3.1 son: Infocarto S.A, 1998, <http://www.infocarto.es> y <http://www.erdas.com>.

1. IMAGINE ESENCIAL (ESSENTIALS). figura n ° 17.

Figura N° 17: IMAGINE ESENCIAL



Imagine Esencial es una herramienta de tratamiento digital de imágenes que permite combinar gran diversidad de información geográfica con imágenes de satélite. *Imagine Esencial* proporciona un robusto juego de herramientas para corrección geométrica, análisis de imágenes, visualización y salida de mapas.

Las principales funcionalidades son:

1. Acceso a Datos y Gestión. ERDAS IMAGINE permite acceder a más de 90 formatos raster y vector diferentes y extraer datos de cualquier sitio en la red:

- Trabaja en una gran variedad de formatos vector incluyendo coberturas ARC/INFO y ficheros *Shape*.
- Utiliza datos en su forma original sin conversión protegiendo su integridad mientras que ahorra espacio en el disco duro.
- Relaciona, visualiza, gestiona y archiva datos con una herramienta gráfica basada en mapas.

2. Herramientas para Visualización, Realce y Manipulación de Datos. ERDAS IMAGINE permite mostrar, combinar, analizar y presentar todo tipo de información geográfica. Trabaja en toda la imagen o en un solo área de interés específico:

- Enlaza geográficamente datos en múltiples visualizadores con escala automática y flechas de Norte.

- Permite moverse y realizar zoom sobre múltiples capas de datos con cualquier tamaño.
- Realiza cambios temporales interactivos de visualización con herramientas como mezcla, barrido.
- Utiliza herramientas avanzadas 2D/3D de perfiles y generación de imágenes 3D interactivas.
- Consulta, edita y marca coberturas ARC y capas de anotaciones.
- Modifica gráficamente tablas de colores de imágenes o aplica estiramientos estadísticos de contraste automáticos.

3. Corrección Geométrica Perfeccionada. Permite registrar datos rápidamente y con precisión al sistema de referencia que se elija:

- Pueden seleccionarse entre más de 200 proyecciones de mapa y datums o definir proyecciones propias.
- Permite ahorrar tiempo y espacio de disco aplicando calibración geográfica basada en modelos ("georeferenciación virtual") sin la necesidad de generar una nueva imagen.
- Utiliza un sistema de predicción de puntos automático para una mayor eficiencia.

4. Mediante las herramientas de análisis de la imagen puede realizarse interpretación visual, digitalización y categorización de imágenes:

- Permite generar y editar coberturas de mapas de vectores y consultar y editar atributos de datos temáticos.
- Pueden segmentarse datos automáticamente en mapas temáticos utilizando técnicas de clasificación *ISODATA*.
- Analizar resultados interactivamente utilizando herramientas de análisis focal y recodificación.

- Manipular atributos de datos raster y vector.
 - Utiliza una gran variedad de técnicas avanzadas de análisis de vecindad.
5. Permite generación de cartografía de gran calidad mediante el *MAP COMPOSER. Imagine Esencial* hace fácil la creación de mapas de calidad cartográfica para análisis en campo y presentaciones. Procesos íntegramente automatizados aceleran la creación de los mapas o de series completas de mapas:
- Utiliza un número ilimitado de ficheros de datos, marcos de mapas, incrustaciones, tipos de datos o mallas.
 - Cubre múltiples mapas de información con marcos dinámicamente actualizados, anotaciones y capas superpuestas de una base de datos de mapa central.
 - Puede incluir imágenes, vectores, atributos y anotaciones como marcos individuales o agrupados.
 - Utiliza dibujos prediseñados o pueden personalizarse flechas, escalas, mallas y leyendas.
 - Permite incluir anotaciones en los mapa utilizando un gran variedad de fuentes, estilos de línea, colores y símbolos cartográficos, o generar los propios.
 - Generación de mapas de calidad cartográfica en una gran variedad de impresoras/plotters o exportar a una gran variedad de formatos.
6. Herramientas de Personalización Completa. El *EML (Erdas Macro Language)* permite diseñar menús en la pantalla personalizados para ajustarse a requerimientos específicos.

2. IMAGINE AVANZADO (ADVANTAGE). **figura nº 18**

Figura N° 18: ERDAS IMAGINE Avanzado



Imagine Avanzado es la parte intermedia de los módulos de ERDAS IMAGINE, añadiendo sobre *Imagine Esencial* más capacidades de cartografía precisa y procesamiento de imagen. Imagine Avanzado tiene herramientas de ortorectificación así como funciones de procesamiento avanzados que se integran perfectamente con datos geográficos existentes.

Las principales funcionalidades son:

1. Geo- y Ortocorrección precisos:

- Ortorectifica SPOT, TM, MSS y fotografías aéreas usando técnicas de modelización de sensor avanzadas.
- Corrige geométricamente usando únicamente los datos de efemerides, o permite añadir puntos de control o un MDT (modelo digital del terreno) para conseguir una mayor precisión.
- Utiliza MDT o permite generarlos a partir de curvas de nivel, datos de mediciones GPS o localización de alturas con la herramienta de superficies
- Añade nuevos modelos de sensor según sea necesario con tecnología DLL.

2. Herramienta de Mosaico:

- La operación plenamente gráfica permite la previsualización de todas las fases de definición de mosaico.

- Permite controlar la definición de línea de corte automáticamente, manualmente o a partir de vectores existentes.
- Procesa las zonas de solapamiento basados en líneas de corte con overlay, min/max, media o opciones de mezcla.
- Obtiene ficheros completos, áreas definidas por *AOI (Area de Interés)* o ficheros de series de mapas.
- Utiliza herramientas de comparación de contrastes avanzadas para conseguir los mejores resultados.
- Mezcla imágenes de cualquier sensor, de cualquier tamaño de pixel y en cualquier proyección (incluso imágenes "raw").

3. Procesamiento de Imagen y Análisis Espacial Avanzado. Permite aplicar funciones probadas y de fácil manejo para realce espacial, radiométrico y espectral, análisis topográfico y SIG:

- Aplicar filtros de convolución predefinidos, análisis textural, filtrado estadístico y adaptivo y realce de bordes.
- Aplicar realces espectrales tales como reducción de bruma, eliminación de ruidos, eliminación de bandeo, igualación de histogramas y normalización topográfica.
- Permite realizar análisis de componentes principales directos e inversos, Transformaciones *Tasseled Cap* y procesamiento Fourier con un editor gráfico de dominios Fourier.
- Permite obtener información de tipo datos topográficos como son pendientes, aspecto, relieve sombreado y curvas de nivel a partir de datos como elevación o medidas geofísicas.
- Genera análisis de proximidad para aplicaciones espaciales.

- Aplica operadores espaciales estándar como son superposición, matriz y índice en capas de datos temáticos.
- Deriva medidas estadísticas basadas en regiones.
- Utiliza herramientas de análisis y procesamiento hiperespectral, incluyendo librerías espectrales, espaciales y superficiales.
- Permite personalizar o extender cualquier capacidad con el lenguaje de modelización espacial ERDAS.

3. IMAGINE PROFESIONAL (PROFESSIONAL). **figura n° 19**

Figura N° 19: ERDAS IMAGINE Profesional



Esta tercera parte añade a las dos anteriores el análisis de datos radar, las herramientas de clasificación avanzada y la capacidad de análisis de datos geográficos: Modelización Gráfica de Datos Espaciales.

Las principales funcionalidades son:

1. Clasificación Avanzada de Imagen. Incluye muchos métodos de clasificación y más importante aún, proporciona avanzadas herramientas para la evaluación de la calidad tanto de los datos de entrada como de los mapas temáticos resultantes, fundamental para la evaluación de la precisión de la clasificación:

- Clasificación de coberturas supervisadas, no-supervisadas e híbridas.
- Procesamiento de clasificación "Iterativa", incluyendo capacidades de "*cluster-busting*".
- Herramientas de "*seed*"/crecimiento de región automáticos para extracción de firmas.
- Edición, extracción y evaluación de firmas de rasgos-espacios sofisticados.
- Probabilidad a priori para la asignación de clases.
- Umbrales de post-clasificación basados en estadísticas o edición gráfica.
- Evaluación y edición de firmas extendida.
- Herramientas de evaluación de precisión.

2. Modelización de Datos Espaciales por Entorno Gráfico. El *MODEL MAKER* de *Imagine Profesional* proporciona una interfaz de fácil manejo basada en objetos para el análisis espacial de datos integrados raster y vector con solo un "clic" de ratón. Permite construir complejos modelos gráficamente, de la misma forma que se crea un diagrama de flujo. ERDAS IMAGINE permite ejecutar el proceso entero con solo pulsar un botón. Permite combinar modelos, usando múltiples "inputs", o adaptando más de 50 modelos prediseñados para ejecutar el trabajo con más facilidad y los análisis con la mayor velocidad. Utiliza diagramas de flujos gráficos para realizar complejos modelos a la mayor velocidad:

- Utiliza más de 250 funciones prediseñadas fácil y rápidamente.
- Combina funciones de procesamiento GIS y de imagen en un mismo modelo espacial.
- Combina objetos raster, vector y atributos en un mismo modelo.
- Aplica un mismo modelo a datos diferentes o a un área geográfica diferente con solo pulsar un botón.

3. Análisis de Imágenes Radar. Los datos radar proporcionan una información única sobre rasgos superficiales y sub-superficiales.

- Funciones de supresión de motas y realce de rasgos para facilitar la integración con otras capas SIG.
- Métodos especializados de fusión de sensores para perfeccionar la combinación de datos radar con escalas de grises y datos multiespectrales.
- Corregir distorsiones en datos brutos (raw) radar aplicando correcciones de *slant-range*.
- Normalizar parámetros de iluminación en la imagen.

4. MÓDULOS ADICIONALES.

Los módulos adicionales más importantes son:

EBIS: es un módulo para realizar clasificaciones texturales de imágenes de satélite.

Vector: es el módulo que permite realizar operaciones topológicas con vectores. El formato de las coberturas vectoriales que utiliza es el formato propio de ARC/INFO.

Advantage Radar: este módulo incorpora herramientas específicas para el tratamiento de las imágenes procedentes de sensores radar.

HRPT: está especialmente diseñado para tratar imágenes procedentes de los satélites NOAA.

MET: permite la interpretación de imágenes procedentes de satélites meteorológicos.

Orthomax: constituye una herramienta muy potente para obtener mapas-imagen (ortoimágenes) de gran precisión a partir de imágenes de satélite o fotos aéreas.

ATCOR: aplica correcciones atmosféricas a las imágenes de satélite.

Developer's Toolkit: Permite personalizar ERDAS IMAGINE para aplicaciones propias. Es posible modificar los métodos utilizados en el procesamiento de imágenes y en las funciones de análisis GIS.

Virtual Gis: Crea vuelos tridimensionales en tiempo real.

2.2.2.2. MapSheets

Figura N° 20: MapSheets



La generación de bases de datos estándar con la información generada mediante el procesamiento de las imágenes tampoco era una tarea fácil. Toda la información utilizada tanto la de partida como la información generada a través

de ERDAS, contiene una base de datos propia, en un formato propio, que dificulta la realización de operaciones básicas (sumatorios, medias, etc.).

MAPSHEETS (figura nº 20) es un software creado por la misma casa que ERDAS IMAGINE por ello permite leer todos los ficheros generados a través de este programa. Para nosotros lo fundamental es que MAPSHEETS utiliza como base de datos Excel. Esto implica que con una simple operación de cortar y pegar nosotros tenemos generada una hoja de cálculo con los diferentes datos de nuestros procesos y podemos operar fácilmente con ella (Erdas MapSheets, 1997)

La ventaja anteriormente señalada es la más importante para la realización de nuestro trabajo pero también tiene otra utilidad importante: MAPSHEETS permite generar cartografía fácilmente y lo que es más importante integrarla en Microsoft Word con una simple operación de cortar y pegar o insertando el mapa como objeto.

El MAPSHEETS es un software de presentación cartográfica y geográfica de fácil manejo para Windows 95 y Windows NT. MAPSHEETS permite crear mapas e ilustraciones geográficas. Como una herramienta cartográfica junto con el Office de Microsoft MAPSHEETS permite usar la tecnología OLE para insertar mapas e imágenes geográficas en informes, presentaciones y hojas de cálculo.

Las características más destacadas de este programa son:

- Su interface gráfico de muy fácil manejo simplifica y hace más eficiente el proceso de creación de mapas:
 - Generación de mapas con un botón utilizando plantillas predeterminadas.
 - "Wizards" para guiar los complejos procesos de generación de mapas paso a paso.

- Impresión de alta resolución con impresoras compatibles con Windows 95 y Windows NT.
- Corta y pega (*Cut and Paste*) información de leyendas de varias capas para crear una leyenda personalizada.
- El Administrador de Proyectos (*Project Manager*) organiza visualmente los proyectos de mapas y permite el acceso por arrastre y suelte (*Drag and Drop*) a ficheros de mapas.
- El interface gráfico compatible con Windows 95, Windows NT y Microsoft Office hace que las operaciones básicas sean familiares e intuitivas.
- La integración con aplicaciones de escritorio permite generar informes con herramientas familiares. La integración total con el Office de Microsoft unifica mapas, datos y texto (Creación de mapas con MAPSHEETS, información de los atributos con Excel, presentaciones con PowerPoint e informes con Word).
- Compatibilidad con aplicaciones y datos GIS. Compatible con ERDAS IMAGINE, ARC/INFO y ARCVIEW. El acceso de datos ODBC permite conectar con bases de datos corporativos y vincular datos actuales con mapas. Permite incluir imágenes de Internet incluyendo los formatos TIFF y JPEG.

2.3. INFORMACIÓN DE BASE

Las imágenes de satélite, unidas al software que permite su tratamiento y a un Sistema de Información Geográfica, constituyen una de las partes más importantes en la realización de este trabajo. Pero las imágenes de satélite resultan insuficientes para elaborar todos los objetivos planteados y por ello debemos utilizar otro tipo de información cartográfica en formato digital.

Consideramos que no debe ser menospreciada la gran cantidad de información cartográfica digital disponible en la actualidad. Esta información debe utilizarse en la realización de estudios de investigación debido en primer lugar al ahorro de tiempo (al menos en principio) que supone la generación de información y en segundo lugar a la fiabilidad que infiere la utilización de información que ha sido generada por equipos de investigación o por organismos oficiales expertos en los diferentes temas a cartografiar.

Por el contrario, hay que señalar la existencia de problemas (en muchos casos irresolubles) que impiden la utilización de dicha información. El primero es de tipo económico (la información digital tienen un elevado precio económico) y el segundo es la existencia de mucha más información digital realizada por organismos de la administración (perdida en los armarios) y que no se encuentra disponible para los investigadores. Creo que este segundo problema es muy importante porque ahorraría mucho tiempo en la generación de información permitiendo profundizar más en los análisis.

La información disponible sobre nuestra área objeto de estudio y que va a ser utilizada en este trabajo es: imágenes de satélite, mapa *Corine Land Cover* en formato digital, la Base Cartográfica Numérica (BCN) escala 1:200.000 en formato digital y un modelo digital de elevaciones o modelo digital del terreno (MDT).

Este apartado describe las características generales de la información (cómo se encuentra disponible, formato, elementos que incluye, fechas, etc.); es decir, información que cualquier otro investigador puede encontrar igualmente. Por el contrario el capítulo siguiente se encargará de describir todos los procesos realizados a esta información base para adaptarse a los objetivos de nuestro estudio.

2.3.1. IMÁGENES DE SATÉLITE

El análisis dinámico de la evolución de los usos del suelo en la Comunidad de Madrid implica la realización de un mapa actualizado de usos del suelo para toda la Comunidad. Este proceso se va a realizar conjuntamente mediante la clasificación supervisada y la fotointerpretación de imágenes de satélite.

La primera cuestión que debemos plantearnos para realizar un mapa actualizado de usos del suelo de la Comunidad de Madrid es cuáles son las imágenes de satélite más apropiadas y cuál es su disponibilidad.

Respecto a la realización de una clasificación supervisada de imágenes de satélite se considera que el sensor más conveniente es el *Thematic Mapper* (TM), sensor que se encuentra a bordo del satélite americano LANDSAT 5. Esta conclusión se basa en las siguientes consideraciones:

- La resolución espacial del satélite LANDSAT: mediante las imágenes LANDSAT, con un pixel de 30m, se puede llegar a obtener escalas de 1:100.000, escala suficientemente detallada para abordar toda nuestra área de estudio.
- Las posibilidades de clasificación multispectral: el sensor LANDSAT TM capta imágenes en 7 bandas del espectro electromagnético que van desde el visible (bandas 1, 2 y 3) al infrarrojo térmico (banda 6), pasando por el

infrarrojo cercano (banda 4) y el infrarrojo medio (bandas 5 y 7). Estas características hacen de este sensor el más indicado para elaborar la clasificación multiespectral necesaria para actualizar los usos del suelo, de acuerdo a los establecidos en el mapa *Corine Land Cover*.

Las imágenes LANDSAT TM, debido a su resolución espacial (30m), resultan insuficientes, al menos en algunos espacios, para diferenciar claramente usos urbanos; por ello para cartografiar estos espacios correctamente y debido a su importancia en nuestro estudio, hemos creído conveniente mejorar el proceso de clasificación mediante la fotointerpretación de imágenes de satélite de mayor resolución espacial.

El objetivo principal del proceso de fotointerpretación es la diferenciación de núcleos urbanos y de las clases relacionadas con la actividad del hombre y para ello hemos utilizado imágenes del satélite indio IRS-1C, en modo pancromático basándonos en las siguientes consideraciones:

- La alta resolución espacial de las imágenes IRS- 1C. El tamaño de pixel (5,8 metros) permite diferenciar claramente la trama urbana.
- La mayor resolución espacial de estas imágenes permite utilizarlas como fuente complementaria en la toma de muestras para la clasificación en la imagen LANDSAT.

La selección de imágenes de satélite en formato digital, se realiza sobre la base de una serie de factores tales como: fechas, localización, cobertura nubosa, calidad etc.

Para la obtención de las imágenes se realiza una consulta vía INTERNET al archivo de “*Quick- Looks*”⁴ de imágenes del satélite LANDSAT 5, sensor TM (*Einet*) proporcionado por la empresa EURIMAGE

⁴ Quick Looks. Reproducción de una Imagen de satélite en formato papel o digital que permite comprobar la calidad de las imágenes.

(<http://www.eurimage.com/einet/>). En este proceso de selección de imágenes de satélite también se han consultado los “*Quick –Looks*” existentes en el archivo del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA, NPOC) que es el punto de contacto en España de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Tras estas consultas, hemos decidido utilizar imágenes del satélite LANDSAT 5 sensor TM que cubran el área de la Comunidad de Madrid, concretamente el territorio comprendido entre 4°50’W y 2° 50’ W, en longitud geográfica y 39° 40’ N y 41° 20’ N en latitud geográfica.

Con el objetivo de centrar de la mejor manera posible las imágenes sobre la superficie cubierta por el área de estudio, se observó la necesidad de seleccionar escenas flotantes⁵ para las imágenes LANDSAT. Para ello fue necesario obtener una escena de centro flotante de la escena estándar 201-32 desplazada hacia el Norte.

Las imágenes objeto de selección han sido:

- Imágenes LANDSAT TM de primavera y verano de 1997. Superficie integrada: 185x172 Km², centradas en la Comunidad Autónoma de Madrid. Sin nubes. En un principio consideramos más adecuado elegir una imagen de primavera y otra de otoño y para ello seleccionamos una imagen de Septiembre (07-09-1997), pero esta imagen tenía problemas de calidad y por ello se desechó.
- Imagen LANDSAT TM de 1987 de fecha cercana a la realización del *Corine Land Cover*. Superficie integrada: 185x172 Km² centrada en la Comunidad Autónoma de Madrid. Sin nubes.

⁵ Escena flotante: Escena no standar en cuanto al territorio cubierto por el satélite y que es necesario adecuar.

- Imágenes IRS-1C de 70x70 Km² que cubrieran la mayor parte de los núcleos urbanos (al menos los más dinámicos) de la Comunidad Autónoma de Madrid.

Una vez seleccionadas las mejores imágenes en cuanto a calidad y cobertura nubosa se procedió a su encargo y adquisición al INTA NPOC. A partir de ese momento el plazo de entrega fue de unos quince días.

Las características de las imágenes de satélite adquiridas aparecen detalladas en la tabla nº 11 el soporte sobre el que se encuentran estas imágenes es CD-ROM.

La imagen LANDSAT del año 1987 no se encontraba en un soporte especial, CCT, porque era una imagen que ya teníamos y no fue necesaria su adquisición.

Tabla Nº 11: Características de las imágenes de satélite seleccionadas.

| SATELITE SENSOR | ESCENA | FECHA | CORRECCION | COORDENADAS | |
|--------------------------|--------|------------|-------------------|-------------|------------|
| | | | | Latitud(N) | Logitud(W) |
| LANDSAT TM 7BANDAS | 201/32 | 11-08-1987 | Nearest neighbour | 40° 33' N | -3° 39' W |
| | 201/32 | 31-03-1997 | Nearest neighbour | 40° 33' N | -3° 39' W |
| | 201/32 | 22-08-1997 | Nearest neighbour | 40° 33' N | -3° 39' W |
| IRS_1C PAN | 16/41 | 06-08-1997 | Path oriented | 40° 10' | -3° 18' |
| | 16/41 | 30-08-1997 | Path oriented | 40° 32' | -3° 51' |

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.2. MAPA DE OCUPACIÓN DEL SUELO: PROYECTO CORINE LAND COVER.

El conocimiento del espacio terrestre es básico para realizar cualquier estudio sobre el territorio. La importancia de este conocimiento ha sido primordial en todo el devenir histórico; a modo de ejemplo recordar la labor realizada por exploradores y conquistadores en la elaboración de cartografía de territorios desconocidos. Esta importancia se ve acentuada en las últimas décadas debido a una serie de fenómenos que se están produciendo en la superficie terrestre, derivados de la creciente explotación de los recursos naturales, el incremento de la expansión demográfica, el aumento del proceso de urbanización y el desarrollo económico, etc. Estos fenómenos están generando graves procesos de deterioro medioambiental y la presencia de fenómenos de crecimiento urbano desorganizado. Por tanto el conocimiento del territorio destinado a intentar paliar estos problemas es actualmente primordial (López, J.M., 1989).

La organización actual del territorio tiene, dependiendo de su evolución histórica, una estructura equilibrada o desequilibrada; por ello, en muchas ocasiones es necesario adoptar medidas o acciones específicas dotadas de una normativa legal, encaminadas a aminorar estos desequilibrios, es decir, es necesario llevar a cabo una labor de planificación del territorio. Todo trabajo de planificación territorial incluye tres fases: recopilación de información, análisis de la información y puesta en práctica de pautas de acción. La recogida de información es la fase en la cual las imágenes de satélite tienen un papel fundamental.

La cartografía y el inventario es una tarea básica en todo proceso de planificación. La cartografía es una fuente primordial tanto para la obtención de información como para la presentación de resultados. Todos los fenómenos territoriales son espaciales y por ello su mejor representación es en un mapa.

La planificación del territorio se plasma en políticas de reparto de actividades y de utilización del suelo, muchas veces a través de modelos de localización y siempre con la intención de suprimir las disparidades y mejorar las condiciones de vida y la protección del medio ambiente. En este contexto, los usos del suelo constituyen una variable básica a ser considerada para elaborar políticas de gestión del territorio; su inventario y cartografía constituyen una información indispensable, más aún cuando existe la posibilidad de actualización en un período relativamente corto de tiempo a través de las imágenes de satélite; esta dificultad es la que motivó retrasos, paralizaciones o la inexistencia de este tipo de cartografía en numerosos países.

Los primeros inventarios de ocupación del suelo (muchos de ellos no se corresponden con los inventarios de ocupación del suelo actuales) fueron realizados exclusivamente con un objetivo fiscal y constituyen inventarios de tierras y tal vez de cultivos. Entre estos primeros inventarios puede citarse el inventario de tierras incluido en el "*Domesday Book*" realizado en Inglaterra por funcionarios de Guillermo, Duque de Normandía, en 1085; el Catastro del Marqués de la Ensenada, elaborado en España en 1749, constituye otro ejemplo de estos primeros inventarios de ocupación del suelo (López, J.M., 1989).

Posteriormente y con un sentido más actual, destaca el inventario de utilización del suelo del Reino Unido elaborado por Stamp entre 1931 y 1938, basado en la preparación de minutas, a partir del mapa topográfico, mediante trabajo de campo y observación directa. Otro ejemplo es el mapa de regiones agrícolas de Norteamérica elaborado por Baker en 1926. También en esta línea desatacan los trabajos de Sorre en 1951 acerca de las divisiones en tipos de cultivos, los estudios sobre tipologías de Bonnamour en 1973 y las tipologías agrarias de la UGI. Otro estudio que debe destacarse es el de clasificación de tierras del "*Tennessee Valley Authority*" realizado en 1933 para fomentar el desarrollo de la cuenca del río Tennessee y donde los usos del suelo son una más de las variables

utilizadas para la cartografía de usos potenciales del suelo. En el Congreso Geográfico Internacional de Lisboa en 1949 se decide la elaboración de un inventario mundial de usos del suelo que se ajuste a una leyenda previa. El trabajo se desarrolló por una comisión de la UGI dirigida por Stamp y con el patrocinio de la Unesco. Otro ejemplo es el inventario sobre recursos naturales y usos del suelo Nueva York (LNUR); en este estudio los tipos de usos/ocupación del suelo se codificaban en celdas de 1 Km. que permitían su almacenamiento en una base de datos utilizando la proyección UTM lo que permitía la posibilidad de combinar estos datos con otros geográficos (SIG). Por último cabe destacar que a partir de las experiencias del LUNR se desarrolla el programa del "United States Geological Survey" (USGS) con la intención de elaborar la cartografía de usos/ocupación del suelo a 1/250.000 y 1/100.000. Para ello Anderson y colaboradores elaboran en 1976 un sistema que permita unificar la clasificación temática (López, J.M., 1989).

En España, los primeros intentos de realizar una cartografía de ocupación del suelo, parten de 1957, fecha en la cual se dispone de fotografías aéreas a escala 1:30.000.

Los trabajos pioneros más destacados en España son los Mapas de utilización del suelo de Navarra elaborados por Mensua y Solans en 1965, el de Zaragoza elaborado por Mensua en 1971 y el de la Rioja realizado por Mensua y García Ruiz en 1976 (Chuvieco, E., 1985). Otros trabajos destacados en este sentido son los Mapas de utilización del suelo de Castellón de la Plana realizado por Sancho en 1979, Pontevedra elaborado por Romaní en 1980, el de la Región Central realizado por Núñez de las Cuevas en 1983, Madrid elaborado por Chuvieco en 1987 y el Mapa de Usos de Suelo de Madrid a partir de datos de LANDSAT 2 realizado por Chicharro en 1976. Gran parte de estos trabajos son el resultado de proyectos de investigación y tesis doctorales que apenas contaron con apoyo oficial; desarrollaron su propia metodología en cada caso y en definitiva no superaron la etapa de experiencia piloto (Núñez de las Cuevas, R., 1990).

Hay que destacar también el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos escala 1:50.000 realizado por el Ministerio de Agricultura. A pesar de su importancia hay autores que critican este trabajo por no incluirse con rigor como mapa de ocupación del suelo, al no considerar los usos urbanos, comerciales, industriales o deportivos (Nuñez de las Cuevas, R., 1990).

Del análisis de esta situación, se desprende la necesidad de disponer en España en plena década de 1990 de un inventario actualizado sobre ocupación del suelo y su integración en un sistema de información geográfica.

El antiguo Instituto del Territorio y Urbanismo del MOPU elaboró un estudio a finales de los años ochenta en el cual ponía de manifiesto, que la información sobre el territorio en España tiene un doble problema (Nuñez de las Cuevas, R., 1990):

1. En primer lugar existe una falta de coordinación entre los diversos sistemas de información actuales, fundamentalmente entre los mapas del medio físico (geología, geomorfología, edafología) y los mapas que integran el suelo con procesos biológicos y usos agrarios. Existe igualmente una desconexión entre la información sobre cultivos y aprovechamientos, sobre el valor agronómico y aquella que se refiere al valor económico del territorio, las cuales en ocasiones presentan rasgos de abierta contradicción. Otro hecho importante a destacar en este punto es la disparidad de las fechas de la información contenida en los mapas. Otro problema es la desconexión entre informaciones numéricas e informaciones territoriales. La gran mayoría de las estadísticas agrarias del país tienen escasa referencia territorial y nula referencia cartográfica.
2. En segundo lugar este informe pone de manifiesto las graves lagunas y vacíos que presenta la información sobre el territorio español. Existe una falta de información sobre la calidad biológica del territorio y sobre los usos no

agrarios; en cuanto a los usos agrarios, la información disponible no se adapta a necesidades de una planificación; la información responde más a una tipología de suelos de cara a su conservación que a su potencialidad y valor agronómico.

El informe realizado por el antiguo Instituto del Territorio y Urbanismo (ITUR) añadía a su vez que la mayor parte de los instrumentos de planificación necesitaban el apoyo de un sistema de información sobre ocupación del suelo. Entre estos instrumentos hay que destacar (Nuñez de las Cuevas, R., 1990):

- Los instrumentos de la planificación física de carácter integrado, es decir, los derivados de la Ley del Suelo, de ámbitos municipal o supramunicipal; los concernientes a la conservación y desarrollo de los Espacios Naturales y los orientados a la prevención de riesgos e impactos ambientales de distinta amplitud y alcance, así como los de carácter sectorial, es decir, Planes Generales de Infraestructuras Territoriales, carreteras, obras hidráulicas y otros y los Planes Generales de Transformación sobre aprovechamientos agrarios y los Planes de Montes.
- Los instrumentos de la planificación económica (Programas a Medio Plazo, de Inversiones Públicas y de Desarrollo Regional) que precisan disponer de cálculos estáticos y dinámicos de las variables relativas a los recursos naturales y su utilización por la actividad económica.

Las carencias y problemas mencionados anteriormente, unidos a la descentralización administrativa del aparato estatal, derivado de la consolidación del Estado de las Autonomías en España, impulsaron la creación de un sistema de información a nivel estatal, que integrara los nuevos métodos de recogida y tratamiento de la información sobre ocupación del suelo en los ya existentes y facilitara la coordinación entre los distintos organismos de la administración central, autonómica y local en estas materias. El objetivo más elemental sería disponer de una información periódica, completa y homogénea acerca de la

ocupación biofísica del territorio nacional. Esta información sería realizada de forma cartográfica y numérica. Según el informe anteriormente citado (Nuñez de las Cuevas, R., 1990) serviría de base para:

1. La coordinación de los sistemas de información numéricos y cartográficos existentes en el ámbito del Estado y las Administraciones regionales y locales españolas.
2. Analizar la diversidad de ocupación del territorio, útil tanto para la planificación física como para la económica; esto es posible debido a la naturaleza espacial y dinámica de la información aportada y a su actualización periódica.
3. El control y seguimiento de los procesos de planificación y de las medidas de protección y corrección de impactos ambientales.

En este marco, el 27 de Junio de 1985, el Consejo de Europa mediante una propuesta realizada por la Comisión Europea, adoptó la decisión de promover el programa de trabajo *CORINE* (*Coordination, Information and Environment*) consistente en un proyecto experimental para inventariar, coordinar y compatibilizar la información del estado del medio ambiente y de los recursos naturales en la Comunidad (Diario Oficial de las Comunidades Europeas 176 de 6 de Julio de 1985) (European Commission, 1994).

Uno de los puntos más importantes del Programa *CORINE* era la generación de un Sistema de Información Geográfica, es decir, una base de datos que fuese capaz de almacenar, procesar y facilitar información en términos de localización geográfica.

El Programa *CORINE* se compone de varios proyectos y la coordinación y dirección se realiza a cargo de la Dirección General de Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil de la Comisión de Comunidades Europeas. Estos proyectos son: Biotopos, recursos hídricos y calidad del agua, polución de

la atmósfera, riesgos de erosión y potencialidad del suelo, erosión costera y ocupación del suelo (European Commission, 1994).

El Proyecto *Land Cover* (Ocupación del suelo) es sólo uno de los proyectos incluidos en el programa *CORINE*. Este proyecto se realiza para todos los países de la Comunidad (12 países miembros en el año 1985) y pretende homologar clasificaciones y metodologías para facilitar las comparaciones internacionales e intertemporales referentes a las características y usos del territorio. Estos aspectos son fundamentales debido a que en todos los países de la Comunidad la información sobre la ocupación del suelo, ya fuera estadística o cartográfica, tenía problemas de heterogeneidad y dispersión (Arozarena, A., y Herrero, M., 1995). Este proyecto integra en un Sistema de Información Geográfica, información georreferenciada (igual formato cartográfico) y coherente de la ocupación del suelo de los países de la Comunidad; información que a su vez es fácil de actualizar.

Durante 1987 y principios de 1988 tienen lugar diversas reuniones entre los organismos interesados -Ministerios de Obras Públicas y Urbanismo, Agricultura, Pesca y Alimentación y Economía y Hacienda- para estudiar la viabilidad de un proyecto de cartografía de ocupación del suelo en España a escala 1/100.000, susceptible de ser integrado en el Programa *CORINE*.

El principal objetivo del proyecto *Corine Land Cover* en España no era únicamente obtener un mapa de ocupación del suelo en un momento concreto, sino establecer un inventario permanente de datos numéricos y cartográficos, sobre usos y características del territorio, con posibilidad de integración en bases de datos geográficos y cartográficas nacionales y de la Comunidad Europea.

El proyecto del Mapa de ocupación del Suelo de España 1/100.000 es un proyecto conjunto de las Direcciones Generales del Instituto Geográfico Nacional, Medio Ambiente e Instituto del Territorio y Urbanismo. La dirección y coordinación se

realiza a cargo del Instituto Geográfico Nacional con la participación de otras Direcciones Generales.

En la elaboración del mapa intervienen varios grupos expertos en tratamiento digital de imágenes que disponen del soporte informático adecuado y de experiencia en el tratamiento de imágenes espaciales y estudios de ocupación del suelo. Estos grupos pertenecen a los Departamentos de Geografía de las Universidades Complutense y de Alcalá de Henares, Instituto Cartográfico de Cataluña, Junta de Andalucía (Agencia del Medio Ambiente.), Junta de Galicia (Agencia de Calidad Ambiental) y TRACASA (empresa vinculada al Gobierno Foral de Navarra). Cada equipo de fotointérpretes estaba formado por dos o tres expertos y el personal auxiliar necesario.

Con anterioridad a la puesta en marcha del proyecto, se realizaron estudios piloto en toda la Comunidad Europea (diez en total) que sirvieron para demostrar la viabilidad del proyecto y establecer una serie de recomendaciones para su posterior elaboración. En España el estudio piloto se realizó en una zona costera fronteriza con Portugal (Andalucía-Algarve con una superficie aproximada de 2.000 Km.) y fue elaborado por la Agencia de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Moreira, J.M., et al, 1987).

Los estudios piloto permitieron establecer una metodología de trabajo definida con la expresión *"fotointerpretación asistida por ordenador de los datos numéricos transmitidos por los satélites de observación de la Tierra"* (Nuñez de las Cuevas, R., 1990).

La escala de trabajo adoptada fue 1:100.000 debido a que es la más adecuada para elaborar estudios territoriales que cubran todo territorio nacional. Otras razones que primaron en la elección de esta escala fueron (Nuñez de las Cuevas, R., 1990):

- El tipo de documento de base utilizado, es decir, la información proporcionada por los sensores disponibles en aquella fecha (imágenes de los sensores MSS, TM o SPOT).
- Los objetivos y utilidades complementarias del mapa (posible creación de otras capas de información a la misma escala).
- Lograr un equilibrio entre costes y tiempo para realizar la cartografía temática de ocupación del suelo.

La escala condiciona y determina la cantidad de información que debería contener el mapa, es decir, la leyenda y el tamaño de la unidad mínima a cartografiar; en este sentido se decidió que la superficie mínima a cartografiar fuera de 25 hectáreas.

La leyenda con nomenclatura unitaria para todos los países de la Comunidad fue convenientemente elaborada, preparándose varias versiones y aprobada definitivamente a nivel comunitario en febrero de 1989 tras numerosas sugerencias del equipo español. Si bien la leyenda europea se organizó en tres niveles jerárquicos: 5 clases el primero, 15 el segundo y 44 el tercero, la leyenda que se aplicó en el caso de España fue una ampliación de la europea con 20 clases más, algunas de las cuales llegan hasta el quinto nivel (Arbiol, R., 1995). Posteriormente se explican todos los términos de la leyenda.

La cartografía de base adoptada fue la proyección UTM, por ser la oficial en nuestro país. Como referencia se utilizaron los mapas a escala 1:100.000 del Servicio Geográfico del Ejército (SGE) que siguen la distribución del Mapa

Topográfico Nacional y resultan de la generalización de la cartografía a escala 1:50.000.

La escala y la leyenda (aparte de la disponibilidad de imágenes en el momento de iniciarse el proyecto) condicionan el tipo de imágenes de satélite que deben utilizarse. Finalmente se acordó que las imágenes de satélite que mejor cumplían estos objetivos eran las procedentes del satélite LANDSAT, sensor TM (30m resolución espacial y 7 bandas espectrales).

La fecha de las imágenes utilizadas fue verano del año 1987 y el total de imágenes TM empleadas fueron 128 cuartos de escena distribuidos de la siguiente forma:

- Cobertura Peninsular: 114 cuartos de escena.
- Islas Baleares: 5 cuartos de escena.
- Islas Canarias: 9 cuartos de escena.

Además de las imágenes de satélite, se utilizó información exógena como base y ayuda para la interpretación de imágenes. Entre esta información adicional puede citarse el mapa de Cultivos y Aprovechamientos a escala 1:50.000, el mapa Geológico a escala 1:200.000, mapas regionales y locales de usos del suelo, mapas topográficos y vuelos a escalas 1:30.000 y 1:18.000.

La metodología seguida en los estudios *Corine Land Cover* puede resumirse en los siguientes pasos (Arbiol, R., 1995):

- 1. Preparación de la información de satélite.**
- 2. Preparación de la información adicional.**
- 3. Proceso de fotointerpretación, con apoyo de fotografía aérea y trabajo de campo.**

- 4. Evaluación del proceso.**
- 5. Digitalización.**
- 6. Integración de los datos en un Sistema de Información Geográfica.**

La preparación de las imágenes que se utilizaron en el proceso de fotointerpretación fue elaborada por el Servicio de Teledetección del IGN, el cual a través de varios procesos de mejora y corrección geométrica de las imágenes (entre ellos la alteración del tamaño del pixel a 25m), elaboró ortoimágenes en falso color utilizando las bandas (4-5-3) del satélite LANDSAT TM.

La cartografía objeto de fotointerpretación se realizó a escala 1:100.000 en un formato de hoja de 40' de paralelo por 20' de meridiano correspondiéndose con la serie cartográfica C a escala 1:100.000 del Servicio Geográfico del Ejército.

El proceso de fotointerpretación o interpretación visual de las hojas 1:100.000 se basó en la identificación, delimitación y asignación de polígonos, de acuerdo con las clases establecidas en la leyenda. Además de la información procedente de las imágenes de satélite, en esta fase se utilizó el resto de la documentación de apoyo anteriormente señalada.

Terminado el proceso de fotointerpretación y una vez validados los resultados (se estudiaron sobre fotografía aérea 713 puntos situados aleatoriamente en el territorio, que dieron un resultado del 88,5% de acierto de la información) se pasó a la digitalización de las diferentes hojas y formación de la base de datos. La digitalización se realizó manualmente, pues era la forma más adecuada considerando las características del proyecto (digitalización de las líneas de contorno). El mapa final está formado por 288 hojas escala 1:100.000. El formato de estas hojas es ARC/INFO.

Fue necesario solucionar los problemas de conversión y transformación entre diferentes formatos físicos y lógicos y armonizar las diferentes clasificaciones y proyecciones cartográficas. En las zonas fronterizas se crearon comisiones internacionales para analizar la frontera como una unidad y buscar soluciones a las diferentes proyecciones cartográficas.

El proyecto *Corine Land Cover*, para el caso español, finalizó en el año 1990-1991.

Los mapas de usos del suelo en formato digital, resultantes de este proyecto, son comercializados por el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) en hojas a escala 1:100.000. El precio oscila entre 20.000 y 30.000 pesetas por hoja dependiendo del número de niveles de los datos (tres y cinco respectivamente).

En el año 1997 se comienza a hablar de la actualización del proyecto *Corine Land Cover* sentándose las bases técnicas y metodológicas para su actualización. Estas bases se establecen tras el análisis de los principales problemas detectados en el *CORINE* de 1987 (integración de diferentes hojas, mala corrección geométrica, errores de fotointerpretación, digitalización y codificación, polígonos de 25Ha, etc.) (European Commission, 1997).

A finales del año 2000 se plantea la actualización del *Corine Land Cover* en España. En principio, este proyecto plantea la actualización y la corrección del *CORINE* de 1989 y la realización de un mapa de cambios entre ambos periodos. Las imágenes que van a utilizarse son las procedentes del satélite LANDSAT 7; en cuanto a la leyenda parecen mantenerse los tres primeros niveles para Europa, el cuarto y quinto nivel se están replanteando y algunas Comunidades Autónomas pueden llegar hasta nivel siete. Su finalización está prevista para el año 2003.

Tras la finalización del proyecto *Corine Land Cover* de 1989 se han realizado otros inventarios de vegetación y usos del suelo en formato digital que integran la Comunidad de Madrid. Los más importantes son el Proyecto de Información Medioambiental y Recursos Hídricos encargado por el Ministerio de Medio Ambiente y el Mapa de usos del suelo y vegetación encargado por la Comunidad de Madrid.

El Proyecto de Información Medioambiental y Recursos Hídricos fue encargado por el Ministerio de Medio Ambiente y realizado por las empresas Aurense, Indra Espacio y el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial). Este proyecto se realizó para el total de España y planteaba una cartografía de usos del suelo en tres fechas (1984, 1991 y 1995) tomando como punto de partida imágenes LANDSAT TM.

El proyecto se realizó mediante una metodología muy similar a la del *Corine Land Cover*, es decir, mediante la fotointerpretación de las imágenes LANDSAT TM a escala 1:100.000.

Las clases establecidas son similares (aunque en número menor) a las del *Corine Land Cover*. Este proyecto se terminó en 1997 y la información resultante no está comercializada.

La leyenda, clases de uso del suelo, de este proyecto es:

1. SUPERFICIES ARTIFICIALES

- 1.1 Zonas Urbanas, Industriales y de Servicios
- 1.2 Zonas Verdes: Campos de Golf y urbanizaciones
- 1.3 Áreas de extracción minera

2. AREAS AGRÍCOLAS

- 2.1 Tierras de labor en Secano
 - 2.1.1 Cultivos herbáceos
 - 2.1.2 Cultivos Permanentes
 - 2.1.3 Asociación/Mosaico cultivos herbáceos-permanentes.
- 2.2 Cultivos de Regadío
 - 2.2.1 Cultivos Herbáceos
 - 2.2.2 Arrozales
 - 2.2.3 Cultivos Permanentes
 - 2.2.4 Mosaico de cultivos herbáceos y permanentes
 - 2.2.5 Cultivos bajo plástico
 - 2.2.6 Policultivos regados tradicionales
- 2.3 Praderas y pastizales
- 2.4 Sistemas Agroforestales
- 2.5 Areas agrícolas con Vegetación Natural.

3. BOSQUE Y VEGETACIÓN NATURAL

- 3.1 Bosque de Frondosas
- 3.2 Frondosas de Plantación
 - 3.2.1 Eucaliptos
 - 3.2.2 Choperas
- 3.3 Bosques de Coníferas
- 3.4 Bosques Mixtos
- 3.5 Matorrales y matorrales Arbolados
- 3.6 Formaciones Supraforestales

4. ROQUEDO Y ESPACIOS CON ESCASA VEGETACIÓN

5. CURSOS Y LÁMINAS DE AGUA

- 5.1 Lagos y Lagunas naturales interiores
- 5.2 Lagunas Costeras
- 5.3 Marismas
- 5.4 Áreas intermareales, deltas y estuarios

- 5.5 Embalses
- 5.6 Otras lagunas artificiales
- 5.7 Aguas marinas
- 5.8 Rios.

El Mapa de usos del suelo y vegetación de la Comunidad de Madrid fue realizado en 1997 por la Escuela de Montes de la Universidad Complutense de Madrid mediante encargo de la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad. Este mapa fue elaborado para el Plan Regional de Estrategia Territorial (P.R.E.T.) y utilizado también en el Plan Forestal 2000-2019 en la Comunidad de Madrid. La escala es 1:50.000. Este mapa fue realizado mediante fotointerpretación y posterior digitalización de imágenes SPOT del año 1995. La figura nº 21 nos muestra este mapa; no creemos conveniente presentar este mapa a escala más detallada porque al estar en formato vectorial (ARC/INFO) realmente tampoco podrían distinguirse las diferentes clases.

El número de clases (la leyenda) de este mapa es muy elevado y por ello vamos a incluir únicamente una simplificación de la leyenda que contiene las grandes clases que se establecen (tabla nº 12).

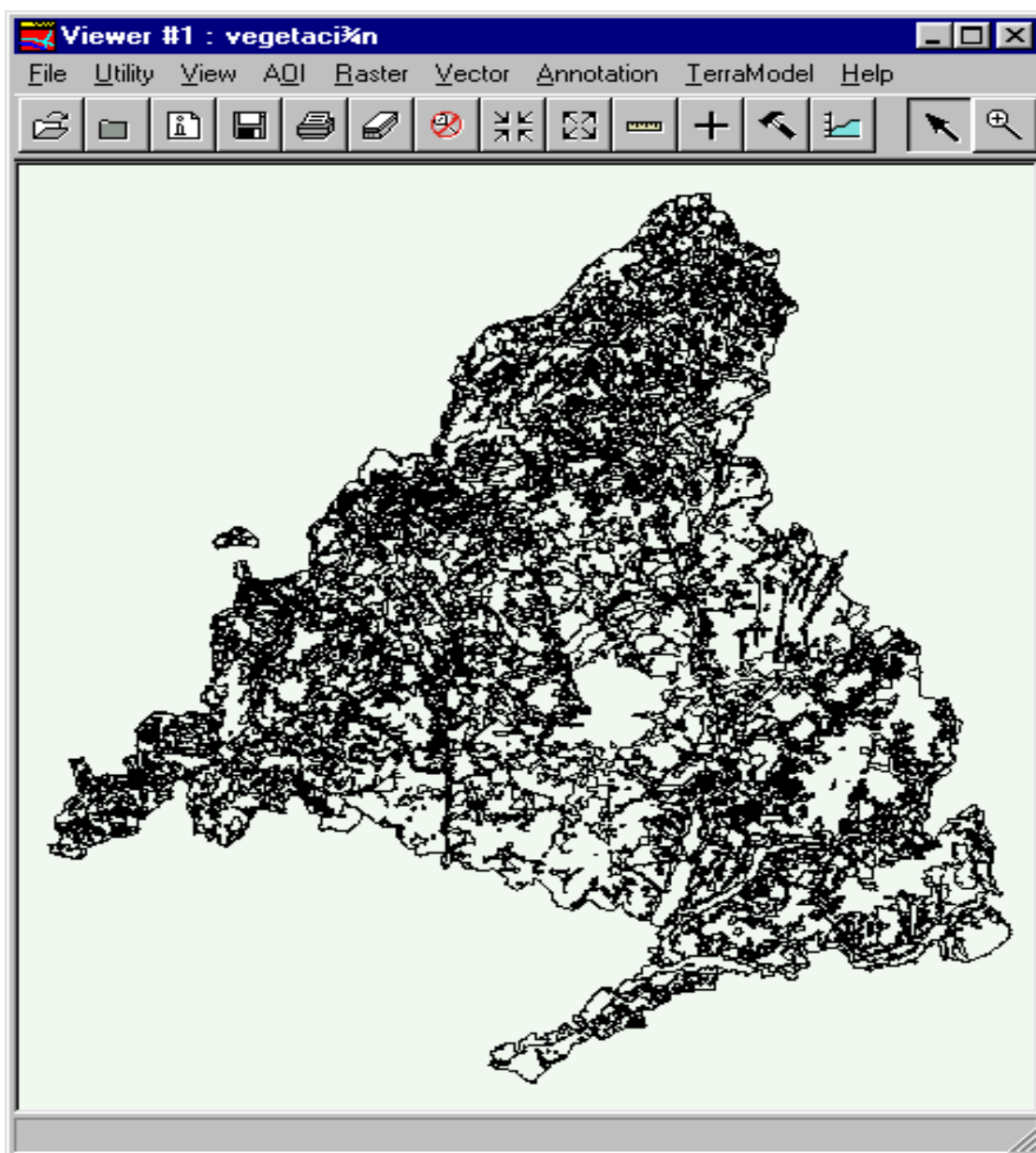
Tabla N° 12: Leyenda Mapa de usos del suelo y vegetación de la Comunidad de Madrid

| | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | CULTIVOS |
| 1a | CULTIVOS DE SECANO |
| 1b | CULTIVOS DE REGADIO |
| 1c | REGADÍOS ALTERNANDO CON SECANOS |
| 2 | PASTIZALES |
| 2a | CERVUNALES Y PASTIZALES HÚMEDOS EN VERTIENTES Y CUMBRES SERRANAS |
| 2b | PASTIZALES MESÓFILOS NO PARCELADOS |
| 2c | PASTOS RETICULARES (>50% son pastos) |
| 2d | PASTOS XEROFÍTICOS |
| 2e | LASTONARES DE CUMBRE |
| 2f | HELECHARES |
| 3 | MOSAICOS DE CULTIVOS/PASTOS/OTRAS FORMACIONES ARBOREO-ARBUSTIVAS (todos con <75%) |
| 3a | PREDOMINA EL OLIVAR (>50% olivar, secano <25% y >25% no cultivos) |
| 3b | PREDOMINA EL CULTIVO DE SECANO (>50% secano, <25% olivar, >25% no cultivos) |
| 3c | MEZCLA DE OLIVAR Y SECANO (25-50% ambos) |
| 3d | OLIVARES Y SECANOS <50% |
| 3e | SECANOS <50% |
| 4 | MATORRALES |
| 4a | MATORRALES CALIZOS O DE TRANSITO CALIZO-GIPSÍCOLA, CON ROCA AFLORANTE NO APRECIABLE O PRESENTE EN LOS REBORDES DEL PÁRAMO PONTIENSE |
| 4b | MATORRALES GIPSÍCOLAS |
| 4c | RETAMARES |
| 4d | JARALES |
| 4e | CANTUESARES, TOMILLARES Y OTROS ACIDÓFILOS DE PEQUEÑA TALLA |
| 4f | MATORRALES ACIDÓFILOS MONTANOS CON PREDOMINIO DE LEGUMINOSAS (ESCOBONALES, CODESARES Y OTROS) |
| 4g | BREZALES |
| 4h | PIORNALES Y OTROS MATORRALES DE ALTURA |
| 4i | COSCOJARES |
| 5 | ROQUEDOS |
| 5a | AFLORAMIENTOS ROCOSOS CON GRADO DE CUBIERTA >50% |
| 6 | PINARES |
| 6a | Pinares de PINUS SYLVESTRIS |
| 6b | Pinares de PINUS PINASTER |
| 6c | Pinares de PINUS HALEPENSIS |
| 6d | Pinares de PINUS NIGRA |

| | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6e | Pinares de PINUS PINEA |
| 6f | Pinares de PINUS UNCINATA |
| 6g | Pinares mezcla de PINUS PINASTER Y PINUS SILVESTRIS |
| 6h | Pinares mezcla de PINUS SILVESTRIS Y PINUS NIGRA |
| 6i | Pinares mezcla de PINUS PINASTER Y PINUS PINEA |
| 6k | Pinares mezcla de PINUS PINASTER, PINUS SILVESTRIS Y PINUS NIGRA |
| 6l | Pinares mezcla de PINUS SILVESTRIS Y QUERCUS PYRENAICA |
| 7 | ENEBRALES Y SABINARES |
| 7a | ENEBRALES PREDOMINANTES (>75% mancha enebro) |
| 7b | ENEBRALES EN MEZCLA CON ENCINA (ambos >25%, uno >50%) |
| 7c | SABINARES |
| 8 | FRONDOSAS PERENNIFOLIAS |
| 8a | ENCINARES ARBÓREOS (arbolado acompañante 5-20% con letra) |
| 8b | ENCINARES ARBÓREO-ARBUSTIVOS |
| 8c | ALCORNOCAL |
| 9 | FRONDOSAS CADUCIFOLIAS Y MARCESCENTES |
| 9a | QUEJIGARES ARBÓREOS Y ARBUSTIVOS |
| 9b | MELOJARES |
| 9c | FRESNEDAS |
| 9d | CASTAÑARES |
| 9e | ROBLEDALES |
| 9f | ACEBEDAS |
| 9g | HAYEDOS |
| 9h | ABEDULARES |
| 9i | VEGETACIÓN DE RIBERA |
| 10 | URBANIZADOS, ACTIVIDADES INDUSTRIALES, EXTRACTIVAS, ÁREAS DE VERTEDERO Y ZONAS DEGRADADAS |
| 10a | URBANIZADOS |
| 10b | ACTIVIDADES INDUSTRIALES Y VERTEDEROS |
| 10c | ÁREAS EXTRACTIVAS |
| 10d | ÁREAS INCENDIADAS |
| 11 | EMBALSES |

Fuente: Comunidad de Madrid.

Figura N° 21: Mapa de usos del suelo y vegetación de la Comunidad de Madrid



Fuente: Comunidad de Madrid.

DEFINICIÓN DE LA CLASIFICACIÓN ESPAÑOLA DEL *CORINE LAND COVER* (Leyenda)

1. SUPERFICIES ARTIFICIALES

1.1 *Zonas urbanas*

1.1.1. *Tejido urbano continuo*. Espacios estructurados por edificios. Los edificios calles y zonas de superficie artificial cubren la mayor parte del terreno. Son poco frecuentes tanto otras zonas de vegetación que no sean las estrictamente lineales o ajardinadas como los terrenos lasos.

1.1.2. *Tejido urbano discontinuo*. Edificación discontinua asociada o no a espacios con vegetación o rasos

1.1.2.01. *Estructura urbana laxa*. Edificación abierta con o sin espacios verdes asociados, tales como calles arboladas o pequeños parques y/o jardines. Son estructuras urbanas adosadas al núcleo más compacto de la ciudad.

1.1.2.02. *Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas*. Zonas de primera o segunda residencia, fuera de los núcleos urbanos y que disponen de espacios verdes.

1.2. *Zonas industriales, comerciales y de transporte*

1.2.1. *Zonas industriales o comerciales*. Zonas de actividad industrial y de servicios, comprendiendo todo tipo de construcción: grandes centros comerciales, fábricas, almacenes, depósitos, infraestructuras contiguas etc. Comprende las zonas de servicios y explotación de las mismas.

1.2.2. *Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados*

1.2.2.01. *Autopistas, autovías y terrenos asociados*

1.2.2.02. *Complejos ferroviarios*

1.2.3. *Zonas portuarias* Infraestructuras necesarias al tráfico marítimo. Incluye malecones, astilleros y puertos deportivos.

1.2.4. *Aeropuertos*. Comprende todas las instalaciones, pistas y terrenos asociados.

1.3. *Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción.*

1.3.1. *Zonas de extracción minera* Zonas de extracción a cielo abierto. Incluye cualquier tipo de extracción (arena, canteras de piedra...) u otros yacimientos minerales.

1.3.2. *Escombreras y vertederos.* Lugares para vertidos urbanos industriales y residuos mineros.

1.3.3. *Zonas en construcción.* Movimientos de tierra, zonas en construcción y terraplenes, etc.

1.4. *Zonas verdes artificiales, no agrícolas.*

1.4.1. *Zonas verdes urbanas.* Zonas con vegetación incluidas en el tejido urbano. Se incluyen parques y cementerios con vegetación.

1.4.2. *Instalaciones deportivas y recreativas.* Zonas de acampada, terrenos deportivos, parques recreativos, campos de golf, circuitos hípicas, etc. Se incluyen parques tradicionales no rodeados por zonas urbanas.

2. ZONAS AGRICOLAS

2.2. *Tierras de labor.* Tierras cultivadas, labradas, sin diferenciación de cultivos: cereales, cultivos forrajeros, etc. No comprende las praderas. Comprende los cultivos de flores, leguminosas, hortalizas, viveros de árboles, cultivos bajo plástico., etc.

2.1.1. *Tierras de labor en seco.* Cultivos anuales indiferenciados que no reciben de forma permanente aportes artificiales de agua. Se incluyen barbechos y rastrojeras.

2.1.2. *Terrenos regados permanentemente.* Cultivos anuales que reciben sistemáticamente y periódicamente agua de riego, gracias a infraestructuras permanentes. Los cultivos que se desarrollan en esas áreas son inviables sin el aporte artificial de agua. Se descartan los riegos de apoyo u ocasionales.

2.1.2.01. *Cultivos herbáceos en regadío* Comprende los cultivos puros, mezclas y asociaciones.

2.1.2.02. *Otras zonas de irrigación* Esencialmente los cultivos bajo plástico que sean identificables.

2.1.3. *Arrozales*. Campos preparados para el cultivo del arroz, terraplenados a fin de lograr superficies planas y con canales de regadío. Superficies cubiertas regularmente de agua.

1.1.1.1.1.1.1.2.2 Cultivos permanentes. *Tierras de cultivos, generalmente leñosas, ocupadas durante largos periodos de tiempo. Se excluyen las praderas pastos permanentes y cultivos forrajeros plurianuales; así como los cultivos forestales y sus viveros.*

2.2.1. *Viñedos*

2.2.2 *Frutales*. Parcelas plantadas con árboles frutales. Plantaciones puras o mezclas de varias especies (en asociación o mosaicos)

2.2.2.01. *Frutales en secano*

2.2.2.02. *Frutales en regadío*. Los frutales en regadío que no sean plantaciones puras de cítricos o tropicales, se asignarán al 2.2.2.02.3

2.2.2.02.1. *Cítricos*

2.2.2.02.2. *Frutales tropicales*

2.2.2.02.3. *Otros frutales en regadío*

2.2.3. *Olivares*

2.3. *Praderas*.

2.3.1.*Praderas*. Prados permanentes y de siembra. Son superficies herbáceas de buena calidad, de duración más o menos ilimitada que no están sometidas a un laboreo sistemático (salvo excepciones, admiten laboreos ocasionales). La flora la componen o bien especies autóctonas o es fruto de la siembra de diferentes especies pratenses (gramíneas, trebol violeta ,etc.) durante un tiempo limitado (3 a 5 años). Pueden estar dedicadas a pastoreo, aunque lo frecuente, en España, es la recolección mediante métodos manuales o mecánicos.

2.4. *Zonas agrícolas heterogéneas.*

2.4.1.*Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes*. Cultivos anuales o prados asociados con cultivos permanentes sobre la misma superficie.

2.4.2. *Mosaico de cultivos*.Yuxtaposición de pequeñas parcelas de diversos cultivos anuales, prados, pastizales y de cultivos permanentes.

2.4.2.01. *Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales*.

2.4.2.02.*Mosaico de cultivos permanentes*. Cuando no haya dominancia clara de ninguno de ellos y sea imposible su asignación a cualquiera de los niveles de la categoría 2.2. Esencialmente son asociaciones de viñedo y olivar o mezclas o asociaciones de cualquiera de estas dos categorías con cultivos permanentes.

2.4.2.03.*Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes*.

2.4.3.*Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural*. Territorios de utilización agrícola dominante, pero con una presencia importante de vegetación natural intercalada (arbustiva o arbórea)

2.4.4. *Sistemas agroforestales*. Cultivos anuales o pastizales protegidos por especies forestales.

3. ZONAS FORESTALES, CON VEGETACIÓN NATURAL Y ESPACIOS ABIERTOS.

3.1. *Bosques*

3.1.1 *Bosques de frondosas*. La vegetación se compone fundamentalmente de árboles, aunque existe también una cierta presencia de arbustos. Predominan las superficies arboladas de frondosas.

3.1.1.01. *Perennifolias y quejigales*.

3.1.1.01.1. *Perennifolias esclerófilas y quejigales* Superficies arboladas de frondosas, cuyas especies dominantes conservan su follaje durante todo el año. Se incluyen el quejigo (*Quercus faginea*, *Quercus canariensis*)

3.1.1.01.2. *Laurisilva macaronésica* Formación perennifolia y pluriespecífica constituida esencialmente por árboles de la familia de las laureáceas. Las especies más comunes son el loro, til, acebiño, etc. En la formación pueden aparecer algunas ericáceas y, a lo largo de los arroyos, los sauces.

3.1.1.02. *Caducifolias y rebollares* Superficies arboladas de frondosas formadas por especies que pierden la hoja al comienzo de la estación desfavorable. Las dos especies más importantes de esta formación son los robles y el haya. También aparece el castaño favorecido por la difusión antrópica., los arces, los tilos y los serbales. En las riberas y enclaves de humedad edáfica aparecen los chopos y los álamos; los olmos, el feno, los sauces, los alisos o húmeros. Casi todos estos últimos son los que amparados en la humedad edáfica, configurar los bosques de ribera del mundo mediterráneo. El endurecimiento de las condiciones térmicas o pluviométricas provoca la aparición de otras especies como el rebollo o melojo, el roble pubescente y los abedulares.

3.1.1.03. *Otras frondosas de plantación*. Bajo este epígrafe se atiende especialmente a las repoblaciones masivas con especies exóticas (eucaliptos australianos, chopos de hibridación, etc) destinadas a la producción maderera. Son frecuentes algunas labores culturales, y la recolección se realiza mediante talas masivas. En los casos de asociación de especies autóctonas, se asignará a esta unidad cuando las especies consideradas en estas categoría sean dominantes. Sin embargo cuando pueda existir un cierto equilibrio en cuanto a las

dominancias, se asignará a esta categoría si el proceso de antropización es muy marcado.

3.1.2. *Bosques de coníferas* La vegetación se compone principalmente de árboles, aunque existen también arbustos. Predominan las formaciones de coníferas.

3.1.2.01. *Pináceas* Incluye a todas las especies del género *Pinus* y a los abetos.

3.1.2.02. *Sabineras y enebrales* Se incluyen cuando adquieren el suficiente desarrollo y densidad como para poder considerar formaciones boscosas.

3.1.3. *Bosque mixto* La vegetación se compone de árboles, pero también de arbustos, donde no predominan ni las *frondosas* ni las coníferas.

3.2. *Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea*

3.2.1. *Pastizales naturales* Superficies que espontáneamente están ocupadas por especies vegetales herbáceas y que son aprovechadas a diente por el ganado. No reciben cuidados culturales. Situados a menudo en zonas de terreno accidentado, pueden contener zarzales así como zonas rocosas, brezales u otros arbustos.

3.2.1.01. *Pastizales supraforestales* Herbazales alpinos o culminícolas que se desarrollan en altitud en las zonas donde desaparece el bosque. Junto con los matorrales se desarrollan formaciones de camefítos o nanofanerofitos que a veces, por influencia antrópica, han ganado extensión para su aprovechamiento.

3.2.1.02. *Otros pastizales.* Principalmente pastos extensivos, característicos tanto de climas húmedos, como secos subhúmedos, semiáridos y áridos; poblados por especies herbáceas espontáneas. Son susceptibles de aprovechamiento mediante pastoreo y no se labran (al menos periódicamente). Pueden tener arbolado con una cubierta inferior al 5% o matorral que ocupe menos del 20% de la superficie.

3.2.2. *Landas y matorrales.* Vegetación tupida de cobertura baja y cerrada, en la que predominan arbustos, matorral y plantas herbáceas (Brezo, zarza, retama, tojo, codeso etc.)

3.2.2.01. *Landas y matorrales templado-oceánicos* Las especies más representativas son de las familias de las ericáceas, papilionianas o fabáceas, acompañadas a menudo por diferentes herbáceas.

3.2.2.02. *Fayal-brezal macaronésico*. Formaciones arbustivas típicas de las islas canarias en las áreas donde existe cierta pluviosidad, constituidas a base de especies laureaces y ericáceas. Puede aparecer como matorral de sustitución de la laurisilva; aunque lo normal es que se corresponda a una degradación en altura de las laurisilvas. Se localiza en la vertiente de barlovento entre los 1200m y los 1400m.

3.2.3. *Vegetación esclerófila*. Formaciones arbustivas propias de los espacios con clima mediterráneo, y de todos aquellos con una precipitación anual reducida que implica la aparición de plantas adaptadas a una marcada aridez. Comprende maquias, garrigas, matorrales subarbustivos mediterráneos, ciertos matorrales gipsícolas y los matorrales xerófilos macaronésicos.

3.2.3.01. *Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso*. Habitualmente la densidad de cobertura es elevada (superior al 50%) con un porte medio o bajo y espeso, donde pueden aparecer algunas especies con una altura superior a 0,6m

3.2.3.02. *Matorrales subarbustivos o arbustivos muy poco densos* Densidad de cobertura inferior al 50%. Aparición de claros, arbustos de poco porte y presencia de formaciones subarbustivas.

3.2.3.03. *Matorrales xerófilos macaronésicos*. Desde un punto de vista altitudinal son las especies del piso basal, hasta 400m. Ó 500m. de altitud como máximo. Son arbustos de plantas crasas, muchas veces sin hojas. Las especies dominantes son los cardones y las tabaibas; también el berode y otras. El máximo desarrollo de estas formaciones se alcanza en las islas orientales por sus condiciones climáticas y orográficas. Hacia la costa aparecen plantas halófitas, y en altura las palmeras y los dragos y ya la sabina que puede estar acompañada de especies arbustivas más propias del mundo mediterráneo.

3.2.4. *Matorral boscoso en transición* Espacio de vegetación arbustiva o herbácea con árboles diseminados. Pueden resultar de la degradación del bosque o de la regeneración o repoblación forestal.

3.3. *Espacios abiertos con o sin vegetación.*

3.3.1. *Playas dunas y arenales.* Incluyen las playas, tanto de arena como de cantos y guijarros, las dunas y las extensiones arenosas litorales y continentales.

3.3.2. *Roquedo.* Comprende los afloramientos rocosos, canchales y gleras, los acantilados, los suelos desnudos originados por factores físicos, las cenizas, las lavas y demás rocas volcánicas.

3.3.3. *Espacios con vegetación escasa.* Zonas con vegetación muy escasa debido a condiciones climáticas extremas, posiblemente asociadas a procesos de erosión.

3.3.3.01. *Xeroestepa subdesértica.* Zonas con vegetación muy escasa debido a condiciones climáticas extremas, posiblemente asociadas a procesos de erosión del suelo. Se incluyen los espartizales.

3.3.3.02. *Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión.* Se aplica a aquellas zonas de erosión, particularmente en medios secos con precipitaciones ocasionales y violentas, donde la práctica ausencia de cubierta vegetal provoca que el arroyamiento, sobre la superficie del terreno, de lugar a una sucesión de crestas y regueros estrechos. Se incluyen otras superficies de erosión por procesos similares.

3.3.3.03. *Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa.*

3.3.4. *Zonas quemadas* Zonas afectadas por incendios recientes.

3.3.5. *Glaciares y nieves permanentes* Terrenos cubiertos por glaciares y nieves perpetuas.

4. ZONAS HUMEDAS

4.1. *Zonas húmedas continentales* Áreas no forestales y parcial, temporal o permanentemente saturadas. Puede tratarse de agua estancada o agua corriente.

4.1.1 *Humedales y zonas pantanosas* Tierras bajas frecuentemente anegadas en invierno y saturadas, en mayor o menor medida, de agua fresca durante el resto del año. Pueden estar colonizadas por diversas plantas.

4.1.2. *Turberas* Zonas húmedas y esponjosas cuyos terrenos están recubiertos de musgo u otras materias vegetales en descomposición. Pueden estar o no en explotación.

4.2. *Zonas húmedas litorales.* Áreas no forestales, parcial, temporal o permanentemente anegadas con agua salobre o salada.

4.2.1. *Marismas.* Zonas de vegetación a poca altura sobre el nivel del mar, susceptibles de inundaciones marítimas, y a menudo en proceso de repoblación, siendo colonizadas por plantas halófitas.

4.2.2. *Salinas.* Sector de las marismas puesto en explotación para la producción de sal. Se distinguen del resto por su aspecto y el sistema de diques.

4.2.3. *Zonas llanas intermareales.* Zonas llanas, a menudo de cierta extensión, que quedan al descubierto en el curso de la marea baja. Carecen de vegetación.

5.SUPERFICIES DE AGUA

5.1. *Aguas continentales.*

5.1.1. *Cursos de agua* Cursos naturales o artificiales de agua que actúan como canales de drenaje o de conducción del agua para cualquier fin. La anchura mínima que se considera es de 100m.

5.1.1.01. *Rios y cauces naturales*

5.1.1.02. *Canales artificiales.*

5.1.2. *Láminas de agua* Extensiones naturales y artificiales de agua.

5.1.2.01. *Lagos y lagunas*

5.1.2.02. *Embalses.*

5.2. *Aguas marinas.*

5.2.1.*Lagunas costeras*. Superficies de agua salobre o completamente salada separadas del mar por barreras litorales y cuya comunicación puede ser mediante un canal más o menos estrecho, infiltración subterránea o por avenidas.

5.2.2.*Estuarios* Parte terminal de los cursos de agua, situados en la desembocadura y sometidos a la influencia de las aguas marinas.

5.2.3.*Mares y océanos*. Zona, mar adentro, del límite de la marea baja.

2.3.3. BASE CARTOGRÁFICA NUMÉRICA:BCN

Las Bases Cartográficas Numéricas son mapas en formato digital procedentes de la digitalización de mapas topográficos a diferentes escalas.

Las Bases Cartográficas Numéricas disponibles en España han sido realizadas por organismos oficiales encargados de la cartografía a nivel nacional fundamentalmente el Instituto Geográfico Nacional. El Centro Geográfico del Ejército también dispone de cartografía en formato digital, aunque ésta no es denominada como BCN.

El Instituto Geográfico Nacional dispone de tres Bases Cartográficas Numéricas a diferente escala y conteniendo distinta información según la escala (<http://www.cnig.ign.es>). El formato de estas bases es vectorial (formato ARC/INFO)

- BCN1000. Base Cartográfica Numérica a escala 1:1.000.000 disponible para toda España. La información contenida es: Límites administrativos municipales y autonómicos, Comunicaciones, Hidrografía, Núcleos de Población, Altimetría y Modelo Digital del Terreno.
- BCN200. Base Cartográfica Numérica a escala 1:200.000 disponible para toda España. La información contenida es: Límites administrativos municipales y autonómicos, Hidrografía, Comunicaciones, Núcleos de Población, Construcciones y Edificios singulares, Curvas de nivel y Puntos acotados y Modelo Digital del terreno.
- BCN25. Base Cartográfica Numérica a escala 1:25.000. Esta información está en proceso de realización y no se encuentra aún disponible para toda España. La información contenida es: Planimetría, Altimetría y Modelo Digital del Terreno aparte de las líneas de los Términos municipales.

El proyecto BCN200, que es con el que nosotros vamos a trabajar en este estudio, tenía como objetivo alcanzar sucesivas versiones de un sistema de información geográfica que gestionara toda la información cartográfica contenida en la serie provincial a escala 1:200.000 publicada por el Instituto Geográfico Nacional.

La BCN 200 se obtienen mediante la digitalización de la información de los Mapas Provinciales a escala 1:200.000 del Instituto Geográfico Nacional y está codificada según el criterio tradicional de Tema, Grupo y Subgrupo. Esta información en su origen se encontraba en un formato de intercambio propio del I.G.N., pero tras un convenio con la empresa ESRI-España se transformó a formato ARC/INFO (Parra, R., 1993).

Esta base empezó a realizarse en el año 1990 mediante la digitalización en formato ARC/INFO de los mapas correspondientes a la serie provincial anteriormente señalada y fue completada en 1992.

Nosotros en este estudio vamos a trabajar únicamente con la BCN200 correspondiente a la Comunidad de Madrid. Esta base en la actualidad se encuentra un poco obsoleta y no aparecen reflejados nuevos municipios (Tres Cantos) o nuevas carreteras (algunas autovías, M-40, M-50, etc.), pero debido a su escala y a la información que contiene hemos decidido utilizarla en nuestro trabajo.

La información utilizada ha sido la correspondiente a las comunicaciones, límite provincial de Madrid, términos municipales y núcleos de población.

La BCN25 aún se encuentra en proceso de realización; esta base comenzó a construirse en 1997, con el objetivo fundamental de establecer una infraestructura básica para España en cuanto a datos geográficos digitales a escala 1:25.000 (Rodríguez, A.F. y otros, 1997).

El Centro Geográfico del Ejército dispone de la siguiente cartografía digital (Centro Geográfico del Ejército 2001):

- Cartografía digital a escala 1:50.000 en formato vectorial DGN propio del CAD MicroStation : Altimetría, Altimetría de Nueva Formación y Planimetría de Nueva Formación, las dos últimas no concluidas.
- Cartografía digital a escala 1:250.000: Altimetría, Planimetría y Toponimia.
- El Mapa Militar Digital de España es una aplicación del Centro Geográfico del Ejército que combina diferentes tipos de cartografía digital: raster, vector, MDT a diferentes escalas.
- La Carta Digital de España: Escalas 1:500.000 y 1:250.000 en formato raster, 1:250.000 en formato vectorial, MDT100 y la base de datos de toponimia: entidades de población y accidentes geográficos.

En el caso concreto de Madrid, la Comunidad de Madrid y el Ayuntamiento de Madrid, disponen de cartografía base en formato digital a diferentes escalas, entre otras 1:200.000, 1:100.000, 1:50.000, 1:25.000, 1:5.000, 1:2000, 1:500, etc.

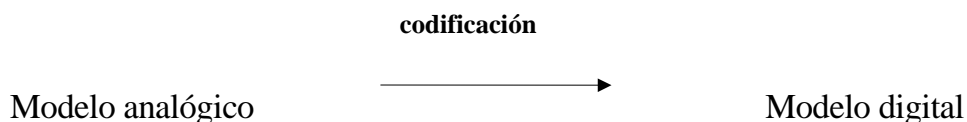
2.3.4. MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)

El término Modelo Digital del Terreno (*digital terrain model*) tiene su origen en el Instituto de Tecnología de Massachussets en los años 50. Sin embargo, ha sido la introducción de los Sistemas de Información Geográfica en el mercado el factor que ha facilitado el conocimiento de los MDT al incorporar la información topográfica al manejo de cartografía digital.

En un capítulo anterior hemos definido un modelo, como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades, es decir, un modelo pretende representar sólo algunas propiedades de la realidad de forma menos compleja que ésta.

Los modelos se construyen estableciendo una relación de correspondencia con las características de la realidad que pretenden representar.

Los modelos digitales del terreno son modelos de tipo simbólico, son una simbolización matemática de la propiedad del objeto que quieren representar. Según Doyle (1978, cit Felicísimo, A.M.,1994) un modelo digital del terreno se puede definir como "*un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio*". Esta definición añade un nuevo concepto y es que los modelos son digitales, es decir, están codificados en cifras, lo que permite un tratamiento informático.



A.M. Felicísimo (1994) precisa que un MDT es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

Los MDT en principio son modelos estáticos (las propiedades permanecen con valores inmutables), pero su naturaleza digital permite que puedan ser utilizados en procesos de simulación dinámica mediante el diseño de algoritmos numéricos.

Los modelos digitales de elevaciones (MDE) son un tipo de MDT. Éstos constituyen actualmente la infraestructura básica de gran parte de los modelos. Se pueden odemos diferenciar:

- Modelos más sencillos derivados del los MDE que son los que reflejan características morfológicas, como orientación, pendiente, etc.
- Modelos más complejos que utilizan la descripción morfológica junto con las simulaciones numéricas de procesos físicos; por ejemplo, las evaluaciones de riesgos de incendios, los modelos de reflectancia, etc.

Los Modelos Digitales de Elevaciones consisten en una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. De forma genérica y simplista, se pueden definir matemáticamente según la fórmula:

$$z = f(x,y)$$

Donde z es la altitud de un punto cualquiera; x e y las coordenadas de este punto en un sistema de referencia determinado y f la función que relaciona la variable z con su localización geográfica.

En un MDE tenemos una variable continua z (la altitud) asociada a unas coordenadas x , y , expresadas en un sistema de proyección geográfica que permite una referenciación espacial precisa.

Ahora bien, estas unidades elementales de información pueden interrelacionarse de diferentes maneras dando lugar a diferentes estructuras de datos para un MDE. En este sentido tenemos dos grandes grupos:

1. Modelos digitales de elevaciones vectoriales, en los que las entidades vienen definidas por sus coordenadas. Los atributos del terreno se representan mediante líneas (vectores) y puntos acotados.

Existen varios métodos de estructuración de los MDE vectoriales. Los más representativos son contornos y TIN.

- Contornos.- La estructura básica es el vector que describe la trayectoria de las curvas de nivel, aunque también pueden existir puntos que representan cotas puntuales. En el caso más sencillo se coge un mapa y se digitalizan las curvas de nivel a intervalos constantes de altitud.
 - TIN (triangular irregular network).- Es un conjunto de triángulos irregulares adosados. Se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales y se adosan sobre el terreno formando un mosaico irregular que se puede adaptar a la superficie con el grado de detalle que sea necesario, en función de la complejidad del relieve. Es frecuente partir de un mapa de curvas de nivel para generar la red de triángulos (Burrough, P.A., 1986).
- 2 Modelos digitales de elevaciones raster, en los que se tiene el valor medio de una serie de unidades elementales de superficie que teselan todo el territorio con una distribución regular y sin solapamiento.

En los modelos raster se tiene una malla con datos de altitud. Existen dos tipos fundamentales de modelos de elevaciones raster: matrices regulares y matrices de resolución variable.

- Matrices regulares.- Son una retícula regular que se superpone al mapa. Generalmente se da el valor de la cota de cada nodo de la malla, si bien lo estricto es tomar el valor medio de cada cuadrícula. Lo normal es que la retícula sea cuadrada.
- Matrices de resolución variable.- En este caso la retícula de lado cuadrado y resolución espacial constante puede ser modificada en zonas donde la resolución espacial haya de ser mayor, debido fundamentalmente a la mayor complejidad del relieve en estas zonas.

En la construcción de un MDE, pueden diferenciarse dos fases: la fase de captación y la de interpolación de los datos.

En la primera fase existen varios métodos de captación que se pueden dividir en directos e indirectos.

- Métodos directos: GPS y estaciones topográficas (si es terreno es fácilmente accesible) y altímetros, los cuales suelen ser aerotransportados en plataformas aéreas; por ejemplo el satélite ERS-1 lleva un altímetro, lo que hace de un buen método aunque costoso para zonas inaccesibles.
- Métodos indirectos: Restitución fotogramétrica con imágenes de SPOT o de foto aérea. Examinando dos puntos homólogos en los pares estereoscópicos, se deducen de su paralaje las cotas necesarias para reconstruir la topografía. Este método también tiene un elevado coste. Otro método indirecto es la digitalización de mapas topográficos que puede ser manual o mediante un escaner.

La segunda fase consiste en la interpolación y rasterización de los datos. El fichero vectorial digitalizado ha de convertirse a formato raster. Existen varios métodos de interpolación:

- Inversa de la distancia: En este método se asignan pesos a los datos en función de la inversa de la distancia que los separa del punto problema. La descripción matemática es:

$$z_{x,y} = \frac{\sum z_i * d_i^k}{\sum d_i^k}$$

donde k es un exponente que varía la ponderación. El caso más común es que $k=2$; tendremos por tanto, la interpolación en función de la inversa del cuadrado de la distancia. La ventaja de este método es que es sencillo y rápido. La desventaja fundamental es que la distribución de los datos originales es fundamental para el tratamiento de las formas cóncavas y convexas.

- Superficies de tendencia: El cálculo se hace a partir de un ajuste por mínimos cuadrados. La ecuación polinómica puede reducirse en el caso más simple a un plano: $z_{x,y} = a_{00} + a_{01}x + a_{02}y$. Utilizando superficies de grado superior aumenta la complejidad del proceso pero se describe con mayor exactitud la superficie topográfica. El principal inconveniente de este método es que necesita un número muy alto de datos, los errores son importantes en la periferia del modelo, y debe tenerse una correcta distribución de los datos originales.
- *Kriging*: Este método estima el valor del punto en función de una media ponderada que depende de la distancia:

$$z_{x,y} = \sum \lambda_i * z_i$$

donde λ_i son los pesos asignados a cada punto.

El Modelo Digital de Elevaciones que se va a utilizar en este trabajo es un modelo de tipo raster. Este modelo fue realizado a partir de las curvas de nivel procedentes de la restitución de los mapas a escala 1:5000 del total de la Comunidad de Madrid.

La cartografía en formato digital 1:5.000 estaba en formato DGN y fue necesario transformarla a cobertura ARC/INFO de líneas, a través de las utilidades de importación – exportación de ERDAS IMAGE, introduciendo como atributo la cota de cada curva.

La obtención del modelo digital final se realizó mediante la interpolación de las curvas anteriormente mencionadas a un fichero raster de 20m de pixel. El proceso de interpolación se realizó con el programa Surface del Image Interpreter de ERDAS IMAGE.

La información de partida de este modelo (1:5.000) permitía realizar un modelo digital de mayor resolución, pero la Comunidad de Madrid (a quién pertenece el modelo) quería una malla de 20m. El resultado del modelo aparece en el mapa nº15.

Nosotros en este estudio vamos a utilizar este modelo como apoyo para la clasificación y fundamentalmente para ortocorregir las imágenes de satélite.

Este modelo no necesita procesamiento posterior utilizándose directamente para la ortocorrección y como apoyo de la clasificación. Por esta razón en el capítulo siguiente de procesamiento de la información de base no vamos a incluir un apartado de procesamiento del modelo digital.

2.3.5. CONCLUSIONES

El desarrollo de modelos y más concretamente de modelos urbanos se ve favorecido en la actualidad por la existencia de numerosas fuentes de información digital y por el auge de técnicas (programas informáticos especializados) destinadas a manipular y gestionar esta información. Nos estamos refiriendo concretamente a la disponibilidad cada vez mayor de imágenes de satélite (incluyendo en este punto programas que permitan su procesamiento) de cartografía digital y de Sistemas de Información Geográfica; todos ellos constituyen hoy día la base para la realización no sólo de modelos sino de cualquier tipo de estudio relacionado con el territorio.

Las ventajas que conlleva la utilización de estas fuentes de información y estas técnicas son innumerables, pero también es importante mencionar algunos inconvenientes derivados no de la utilización de estas fuentes sino de su disponibilidad dentro del ámbito de la investigación.

En nuestra opinión estos problemas o inconvenientes pueden sintetizarse en dos tipos: en primer lugar la inadecuación de fuentes y técnicas a todo tipo de estudios y en segundo lugar problemas económicos.

1. Inadecuación de fuentes y técnicas

* Inadecuación de imágenes de satélite.

La teledetección no es una técnica nueva. Las fotografías aéreas se han utilizado desde mediados del siglo XIX para analizar el espacio y las primeras imágenes de satélite datan de la década de los cincuenta.

Las características de las imágenes de satélite, han evolucionado mucho en los últimos cincuenta años, permitiendo que su utilización se haya extendido a una gama muy amplia de estudios o aplicaciones. Sin embargo, esta evolución en las características de las imágenes de satélite no ha favorecido la ampliación de estudios de espacios urbanos, debido a que las características de resolución espacial (tamaño de pixel) de las imágenes eran insuficientes para realizar estudios a escala detallada.

En los últimos cinco o seis años la evolución en las imágenes de satélite se ha centrado entre otras en la mejora de la resolución espacial. Hemos visto en la primera parte de este capítulo que existen actualmente imágenes con 1m de resolución espacial y cómo hay un gran número de satélites que tienen previsto su lanzamiento próximamente que tienen estas mismas características. Este factor supone un cambio importante en el rango de aplicaciones y fundamentalmente en las aplicaciones urbanas, pero ha habido que esperar mucho tiempo para que esto fuera posible.

* Inadecuación de la cartografía digital

La cartografía digital está sufriendo en los últimos años un gran desarrollo, motivado en gran parte por el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica. El uso generalizado de estos Sistemas de Información Geográfica hace necesaria la disponibilidad de cartografía digital en diferentes formatos y escalas.

La cartografía digital existente en la actualidad es variada, pero debido a la escala, al formato en que se encuentra y a los errores que contiene, no siempre puede ser utilizada directamente en los estudios.

* Inadecuación de los Sistemas de Información Geográfica y de los sistemas de procesamiento de imágenes de satélite.

El desarrollo que han experimentado los Sistemas de Información Geográfica y los sistemas de procesamiento de imágenes de satélite es un hecho bastante evidente; basta con consultar cualquier revista especializada o INTERNET para comprobar la gran cantidad de programas que se encuentran disponibles.

Sin embargo en nuestra opinión este desarrollo no ha sido homogéneo; es decir, hasta hace poco tiempo era imposible trabajar con un mismo sistema (programa, software) que permitiera procesar las imágenes de satélite y que a la vez llevara incorporado un Sistema de Información Geográfica capaz de integrar la información derivada del tratamiento de las imágenes con otras variables igualmente importantes. Y más aún, era casi imposible encontrar un sistema que permitiera trabajar con información digital que se encontrara en diferentes formatos (raster y vectorial).

Todos los problemas mencionados son importantes y deben tenerse muy en cuenta a la hora de determinar el tipo de información con la que se va a trabajar; es decir, qué información se va a utilizar como base para el estudio y que tipo de software (Sistemas de Información Geográfica y Sistema de procesamiento de imágenes de satélite) es el más apropiado para conseguir los objetivos que se planteen.

2. Problemas económicos

Un problema determinante para la investigación es el elevado coste económico de las imágenes de satélite, de la información cartográfica digital y de los Sistemas de procesamiento de imágenes y GIS (en los dos últimos los costes han disminuido considerablemente en los últimos años).

La información se encuentra disponible pero el precio que hay que pagar por ella no es asumible por un investigador a nivel particular, ni incluso por un equipo de investigación e impide en muchos casos su utilización. Este hecho se puede constatar analizando los últimos números de revistas especializadas, últimos libros o aportaciones a congresos; prácticamente en ninguno (que no provengan de la empresa privada) se utilizan las últimas imágenes disponibles (IKONOS e incluso IRS 1C), la última versión o actualización de software y la cartografía digital existente en el mercado.

Soy consciente de que mi situación personal durante gran parte del periodo en el cual se ha desarrollado esta tesis y la ayuda proporcionada por amigos que trabajan en empresas privadas o en la administración han hecho posible la utilización de un gran número de imágenes de satélite y de información digital en este trabajo. Consideramos que ésta no debería ser la práctica habitual para conseguir información que resulta básica y elemental para gran parte de los estudios de investigación que se realizan en la actualidad.

CAPÍTULO 3

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE BASE

El orden para desarrollar este capítulo varía con respecto al desarrollo del apartado información de partida. La razón es que para la realización de determinados procesos con las imágenes de satélite (primer punto del apartado anterior) es necesario anteriormente procesar el resto de la información de base. El orden del desarrollo de este apartado está por tanto en función de las necesidades de utilización de la información generada tras su procesamiento. Este orden es:

1. Procesamiento de la BCN para generar:
 - a. Un fichero con el contorno de la Comunidad de Madrid: el límite provincial.
 - b. Un fichero con las principales carreteras de la Comunidad de Madrid (las radiales).
2. Procesamiento del *Corine Land Cover* para generar un mapa que contenga los usos del suelo de la Comunidad de Madrid.
3. Procesamiento de las imágenes de satélite para obtener un mapa actualizado de usos del suelo de la Comunidad de Madrid.

3.1 BASE CARTOGRÁFICA NUMERICA: BCN

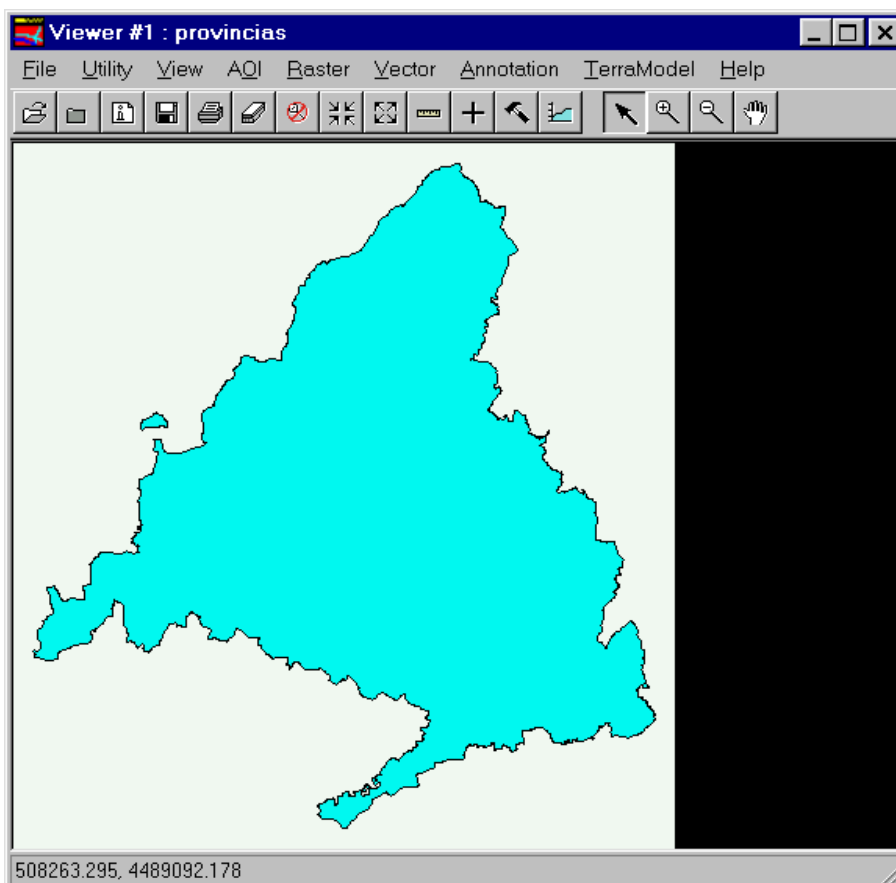
a. Generación del Contorno de la Comunidad de Madrid.

El límite provincial de Madrid es necesario para adecuar (cortar) a este espacio geográfico concreto el resto de la información de base: las imágenes de satélite y el *CORINE LAND COVER*.

Este proceso se realiza en ERDAS IMAGE mediante las siguientes operaciones:

1. El contorno de la Comunidad Autónoma de Madrid está en la BCN en formato vectorial (ARC/INFO). Este contorno se extrae eligiendo de su base de datos el fichero correspondiente a provincias (figura nº 22a).

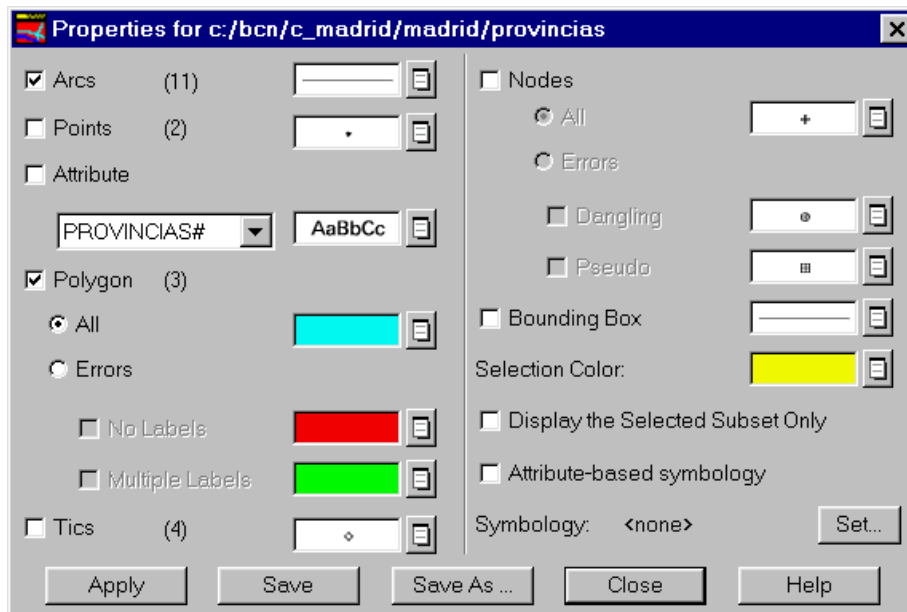
Figura N° 22a: Contorno provincial de la Comunidad de Madrid en formato ARC/INFO



Fuente: BCN 200.

2. Mediante las utilidades del módulo vectorial de ERDAS IMAGINE se analizan las propiedades de dicho vector y se visualiza como polígono (figura nº 22b).

Figura N° 22b: Propiedades del contorno provincial de la Comunidad de Madrid en formato ARC/INFO



Fuente: BCN 200.

3. Para realizar los cortes del resto de la información no es suficiente tener el contorno provincial de Madrid en formato vectorial. ERDAS IMAGINE para realizar este proceso trabaja con lo que denomina *AOI* (área de interés); por ello es necesario transformar el polígono vectorial de la Comunidad de Madrid en un *AOI*. Esta operación se efectúa con las propias herramientas del *AOI* en las cuales el polígono seleccionado pasa a convertirse en *AOI*. Una vez salvado el *AOI* correspondiente al límite autonómico de la Comunidad de Madrid éste será el marco de referencia para cortar todas las imágenes e información adicional.

b. Generación de un fichero con las carreteras radiales de la Comunidad de Madrid.

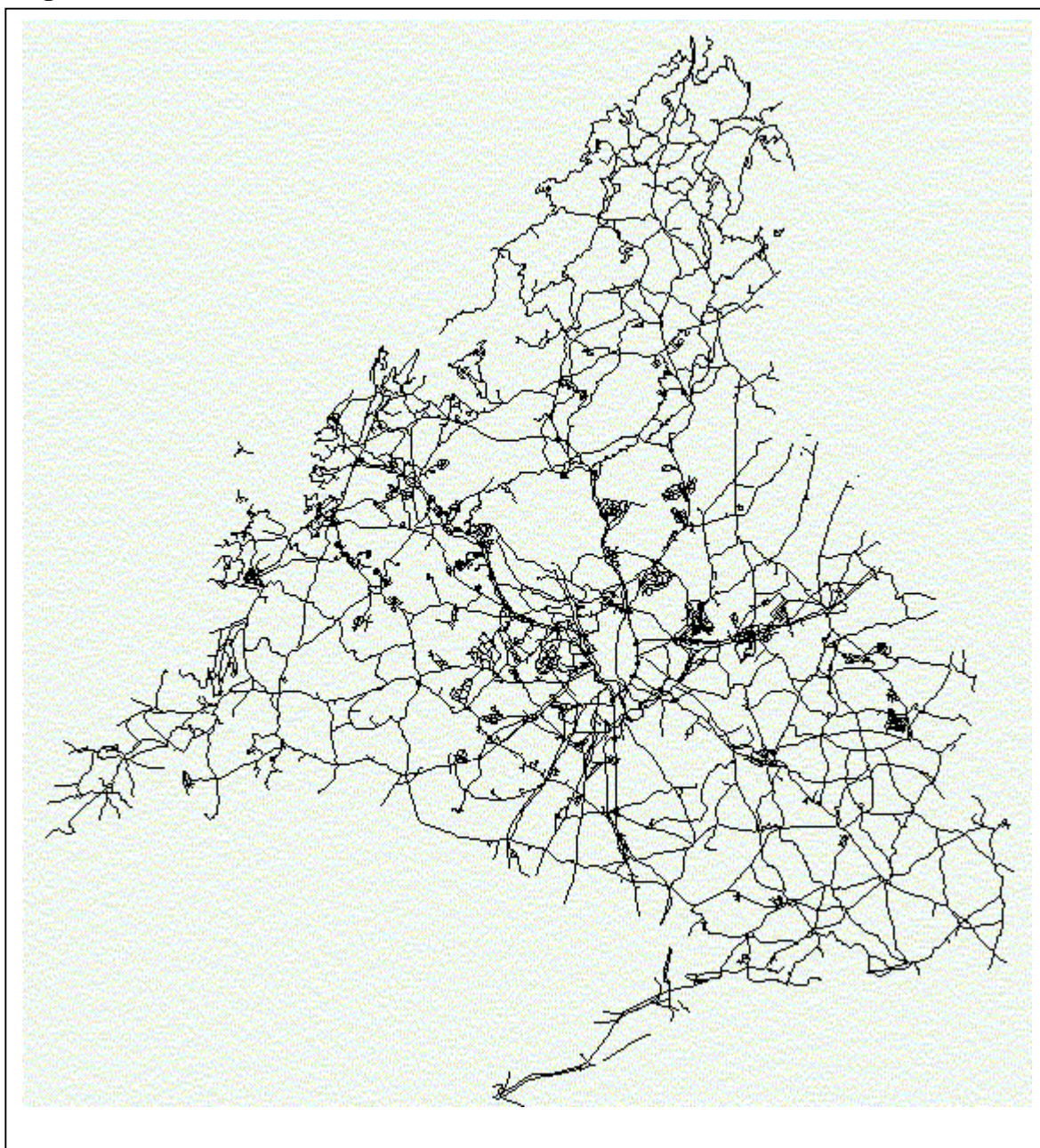
La generación de este mapa se realiza a partir de un fichero que contiene las carreteras principales de España procedente de la BCN (figura nº 23). De este

fichero se extraen únicamente las carreteras principales correspondientes a la Comunidad de Madrid. La disponibilidad de este fichero simplificó bastante nuestra labor porque el fichero que contiene las carreteras de la Comunidad de Madrid en la BCN es mucho más complejo que el de España, porque no incluye únicamente las carreteras sino también ferrocarriles y otras vías de comunicación (figura nº 24).

Figura Nº 23: Carreteras principales de España



Figura N° 24: Comunicaciones de la Comunidad de Madrid



Para ello de todos los atributos que contiene este fichero (figura nº 25) debemos seleccionar aquel que sea único para cada carretera o para cada tramo que compone la carretera. Esto no es fácil debido a la multitud de campos y vectores que componen cada una de las carreteras. En primer lugar el campo seleccionado fue en “Nº de tramo” pero nos dimos cuenta de que por error en el campo o por error en la BCN este campo se repetía en diferentes carreteras.

El campo seleccionado finalmente fue *CPM#*⁹ y los tramos correspondientes a cada carretera son:

- **CARRETERA DE BURGOS:**

A1 60,43,72

N1 45,56,68

NI 1,2,4,23

- **CARRETERA DE BARCELONA**

A2 44,52,81,89,92,94

- **CARRETERA DE VALENCIA**

A3 131,137,144,157

NIII 172,173,186

- **CARRETERA DE ANDALUCIA**

A4 155,164,167,178,181,185

- **CARRETERA DE EXTREMADURA**

A5 101,107,119,127,161,170

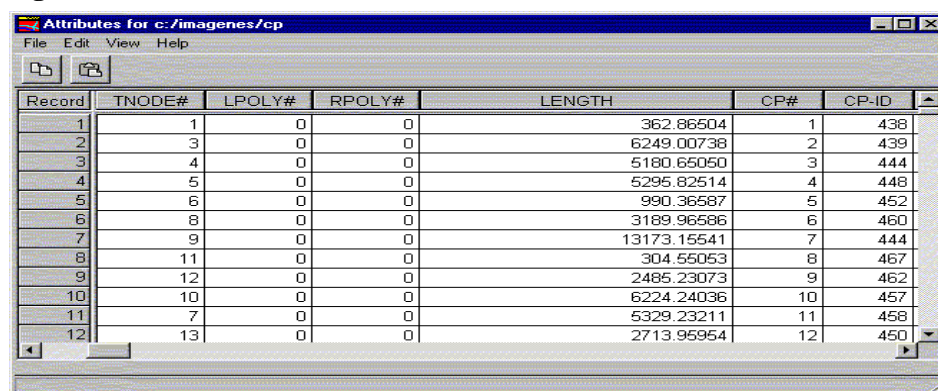
NV 175,177

- **CARRETERA DE LA CORUÑA**

A6 10,13,15,16,17,18,25,28,30,32,40,62,65,84,86,100.

NVI 11,12,14,19,22,27,29

Figura N° 25: Atributos de los vectores



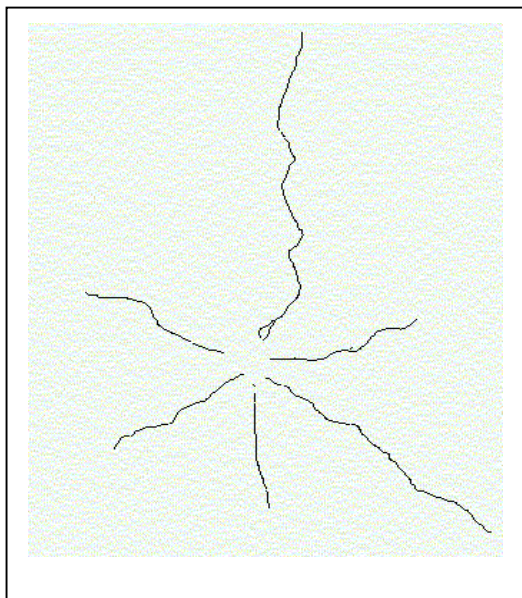
| Record | TNODE# | LPOLY# | RPOLY# | LENGTH | CP# | CP-ID |
|--------|--------|--------|--------|-------------|-----|-------|
| 1 | 1 | 0 | 0 | 362.86504 | 1 | 438 |
| 2 | 3 | 0 | 0 | 6249.00738 | 2 | 439 |
| 3 | 4 | 0 | 0 | 5180.65050 | 3 | 444 |
| 4 | 5 | 0 | 0 | 5295.82514 | 4 | 448 |
| 5 | 6 | 0 | 0 | 990.36587 | 5 | 452 |
| 6 | 8 | 0 | 0 | 3189.96586 | 6 | 460 |
| 7 | 9 | 0 | 0 | 13173.15541 | 7 | 444 |
| 8 | 11 | 0 | 0 | 304.55053 | 8 | 467 |
| 9 | 12 | 0 | 0 | 2485.23073 | 9 | 462 |
| 10 | 10 | 0 | 0 | 6224.24036 | 10 | 457 |
| 11 | 7 | 0 | 0 | 5329.23211 | 11 | 458 |
| 12 | 13 | 0 | 0 | 2713.95954 | 12 | 450 |

Fuente: BCN 200.

⁹ Hemos intentado comprobar el significado exacto de este código pero no hemos podido conseguirlo. Este código era exclusivo de los diferentes tramos que componen las carreteras.

El resultado obtenido es un fichero que contiene las principales carreteras de la Comunidad de Madrid tal y como aparece en la figura nº 26.

Figura Nº 26: Carreteras principales de la Comunidad de Madrid.



Una vez realizado este proceso nos dimos cuenta de que en el mapa de carreteras de la Comunidad de Madrid, existe un error: la parte correspondiente a la carretera de Andalucía del municipio de Aranjuez no aparece en el mapa. El motivo es que este tramo no estaba incluido en el fichero de carreteras de España. Para intentar subsanar este error intentamos repetir el proceso utilizando directamente el fichero de comunicaciones de Madrid pero la BCN tiene un error en este tramo ya que no lo incluye como parte de la carretera de Andalucía, sino que lo incluye como un tramo SN (sin nombre). Debido a la complejidad en la repetición del proceso y fundamentalmente a que este tramo es muy poco significativo para nuestro análisis hemos decidido obviarlo.

La información correspondiente a los términos municipales y a los núcleos de población, no ha sido necesario procesarla, porque únicamente se han utilizado para superponerse con otras capas de información y para ello se emplean las capas originales completas en formato ARC/INFO.

3.2. MAPA DE OCUPACIÓN DEL SUELO: PROYECTO CORINE LAND COVER

El objetivo de este apartado es conseguir un mapa de usos del suelo de la Comunidad de Madrid en el año 1987; para ello utilizamos como información de partida el mapa *CORINE LAND COVER* de España en formato digital (formato ARC/INFO).

El procesamiento realizado con *CORINE LAND COVER* es:

- 1. Obtención del mapa *CORINE LAND COVER* de la Comunidad de Madrid.**
- 2. Simplificación de las clases originales (simplificación de la leyenda).**

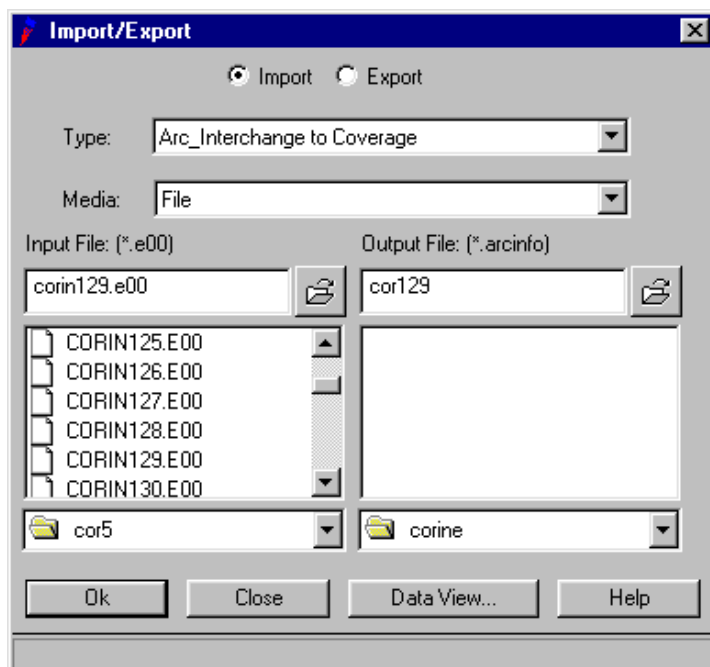
1 Obtención del mapa *CORINE LAND COVER* de la Comunidad de Madrid

El mapa *CORINE LAND COVER* de España está compuesto por hojas en formato ARC/INFO (E00) a escala 1:100.000 coincidentes con la distribución de hojas del Mapa Topográfico Nacional 1:100.000 del IGN. Esas hojas están agrupadas en *Workspaces* o espacios de trabajo. En total hay 11 espacios de trabajo. Los espacios de trabajo y hojas pertenecientes a la Comunidad de Madrid son:

- *Workspace* COR 5: Hojas 129, 130, 144, 145, 157, 158, 159, 170, 171, 172
- *Workspace* COR 6: Hojas 160, 173
- *Workspace* COR 7: Hojas 184, 185

El primer proceso que debemos realizar es importar todas las hojas de formato E00 a formato de cobertura (*ARC COVERAGE*). Este proceso se realiza automáticamente con el módulo *IMPORT/EXPORT* de ERDAS IMAGINE (figura nº 27).

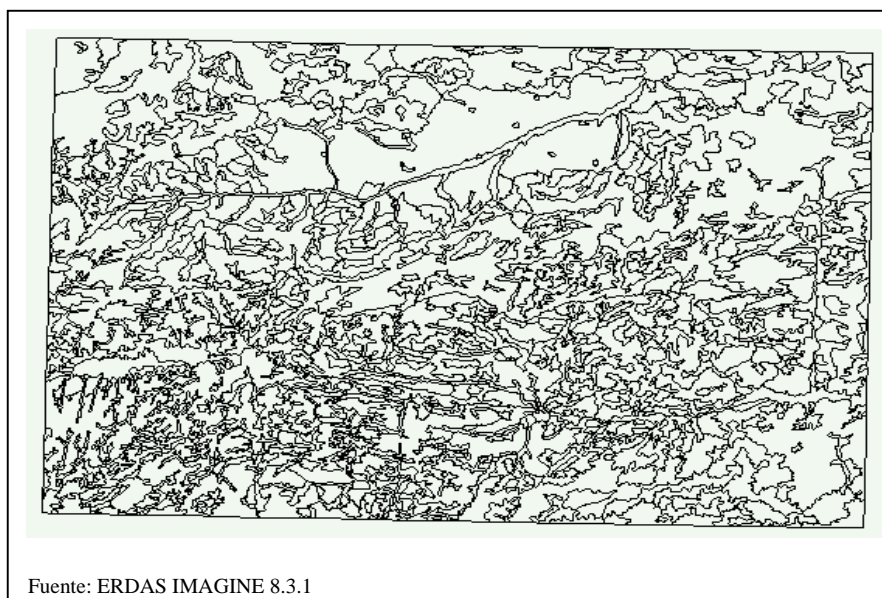
Figura N° 27: Importación de Coberturas CORINE LAND COVER



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

A continuación es necesario transformar todas las hojas individualmente de formato vectorial de ARC/INFO (figura n° 28), a formato raster de ERDAS (figura n° 30). En este proceso decidimos que el tamaño de pixel más adecuado para realizar esta transformación es de 20m. Los pasos seguidos con ERDAS IMAGINE se muestran en la figura n° 29.

Figura N° 28: Cobertura *CORINE LAND COVER* formato ARC/INFO



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

Figura N° 29 : Transformación coberturas a raster

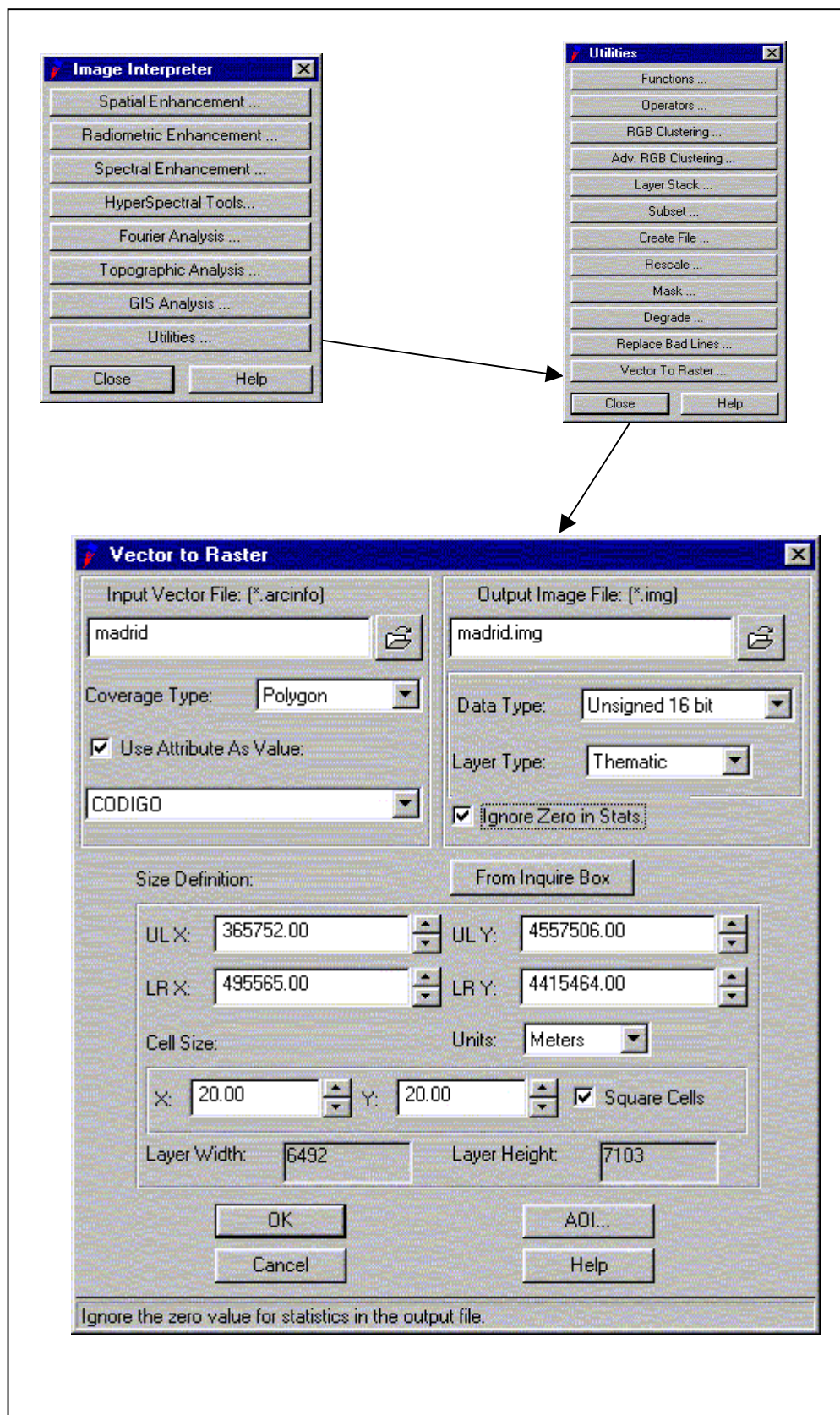
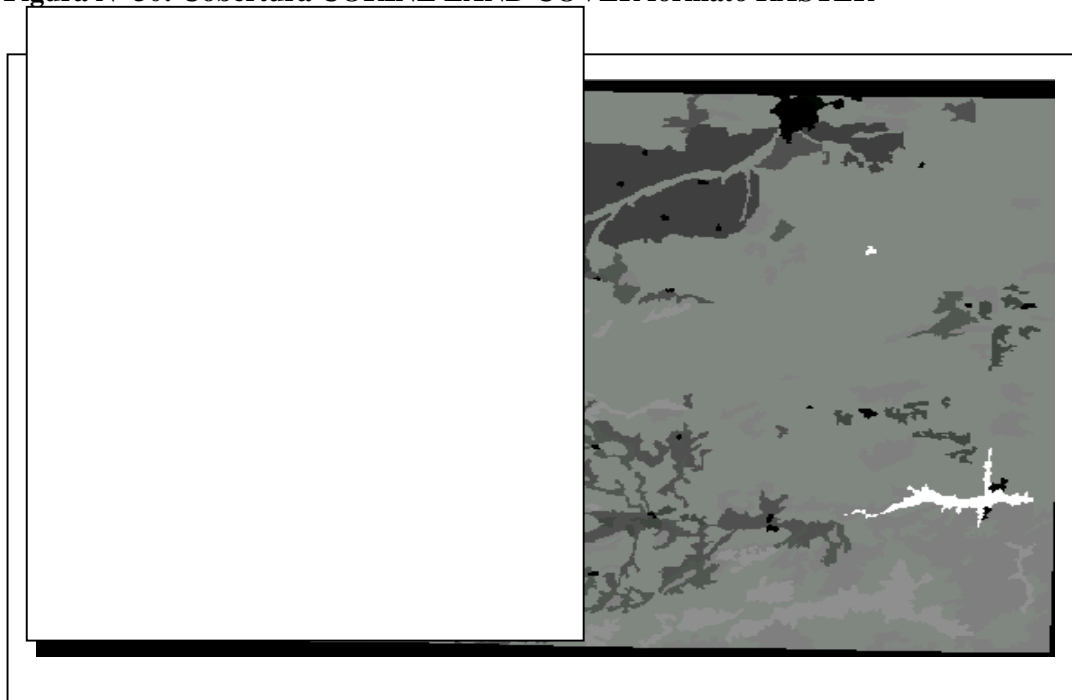


Figura N° 30: Cobertura CORINE LAND COVER formato RASTER



El siguiente paso que debe realizarse es unir todas las coberturas que han sido transformadas a formato raster, es decir, hacer un mosaico con todas las coberturas. Esto se consigue programando un modelo con el *MODEL MAKER* de ERDAS IMAGINE (figura n° 31), en el cual la función debe estar determinada por la unión de las coberturas. Este proceso hay que repetirlo tantas veces como coberturas existen, 14 en nuestro caso.

Para entender bien el esquema del *MODEL MAKER* y otros similares que aparecerán en apartados sucesivos, creemos conveniente aclarar el significado de los iconos:



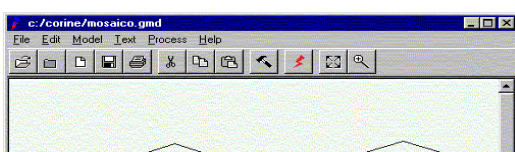
-  Nombre de fichero de entrada
-  Función.

Figura N° 31: Model Maker Mosaico



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

Por último, para conseguir el Mapa *CORINE LAND COVER* de la Comunidad de Madrid, debemos adecuar (recortar) el Mosaico de coberturas al límite provincial. Para ello, utilizamos el contorno provincial extraído de la BCN. El resultado se muestra en la figura nº 32.

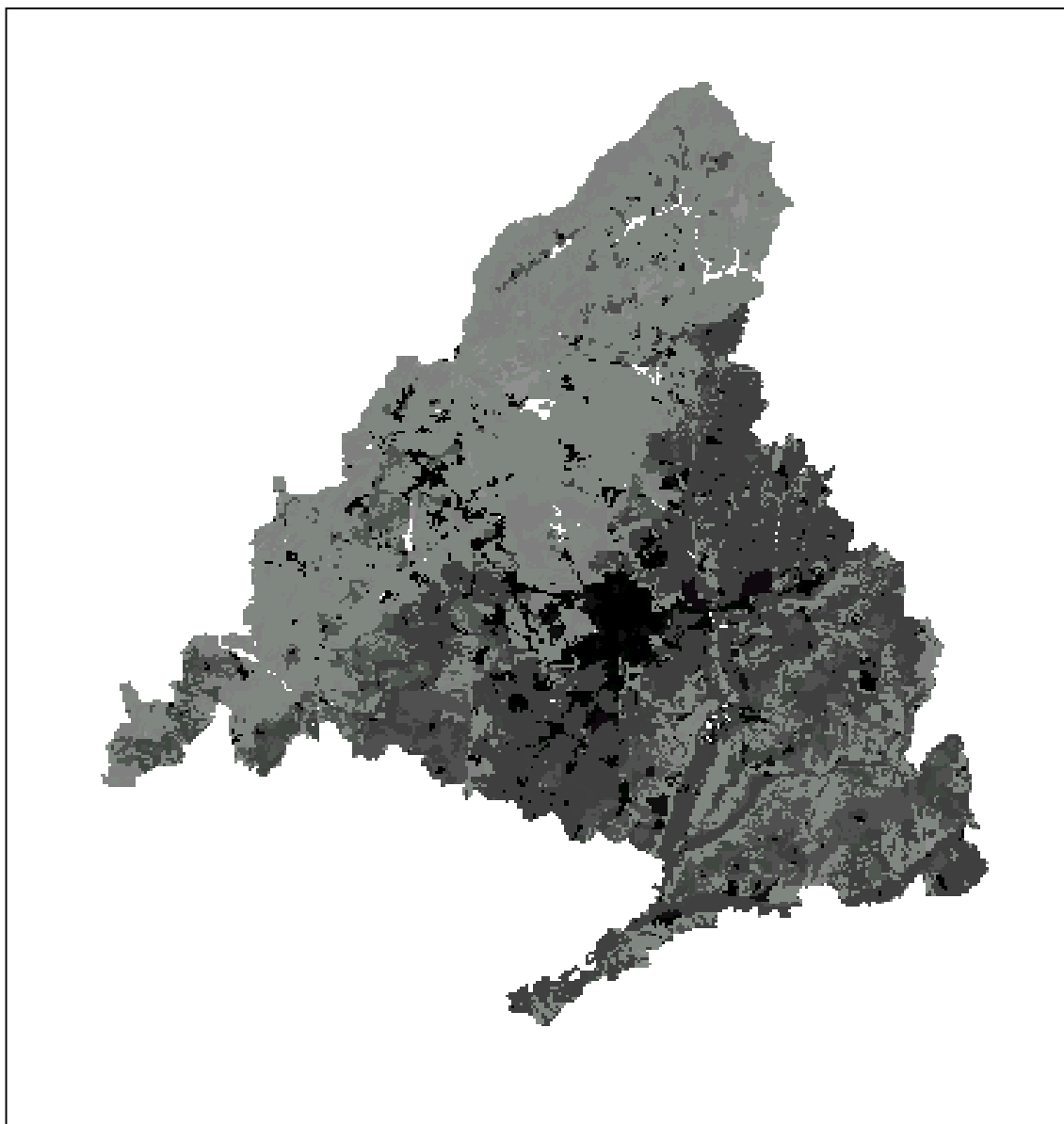
El resultado de la operación es un mapa que tiene 51.220 clases diferentes; la mayor parte de ellas no contienen información, tan sólo 46, que son las clases del Mapa *CORINE LAND COVER* para la Comunidad de Madrid.

El motivo de este gran número de clases es la codificación original de *CORINE LAND COVER*, que como vimos al explicar la leyenda original llega hasta el código 51.220. Al vectorizar primero y rasterizar después, esto se traduce en número de clases. Por esta razón, para poder trabajar con este mapa, debemos eliminar todas las clases que nos sobran, es decir, debemos pasar de un mapa de 51.220 clases a un mapa de 46 clases.

Este proceso se consigue mediante la recodificación o reclasificación de todos los valores. La reclasificación es una operación que permite la creación de un nuevo

mapa (fichero) en el cual se modifican los valores de la variable contenida en el mapa fuente en función de alguna operación que se basa, exclusivamente en esos valores iniciales (Bosque, J., 1992).

Figura N° 32: CORINE LAND COVER Comunidad de Madrid



Una vez realizado el proceso de recodificación debe incluirse el nombre de cada una de las clases y un color adecuado. El resultado es el mapa n° 16.

Las 46 clases *CORINE LAND COVER* correspondientes a la Comunidad de Madrid son:

SUPERFICIES ARTIFICIALES

1.1.1. Tejido urbano continuo

1.1.2.01. Estructura urbana laxa.

1.1.2.02. Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas.

1.2.1. Zonas industriales o comerciales.

1.2.2.01. Autopistas, autovías y terrenos asociados.

1.2.2.02. Complejos ferroviarios

1.2.4. Aeropuertos

1.3.1. Zonas de extracción minera

1.3.2. Escombreras y vertederos.

1.3.3. Zonas en construcción.

1.4.1. Zonas verdes urbanas.

1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas

ZONAS AGRICOLAS

2.1.1. Tierras de labor en secano.

2.1.2.01. Cultivos herbáceos en regadío

1.1.1.1.1.1.1.2.2.1.2.02. Otras
zonas de irrigación

2.2.1. Viñedos

2.2.2.01. Frutales en secano

2.2.2.02.3. Otros frutales en regadío

2.2.3. Olivares

2.3.1. Praderas.

2.4.2.01. Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales.

2.4.2.02. Mosaico de cultivos permanentes.

2.4.2.03. Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes.

2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural

2.4.4. Sistemas agroforestales.

ZONAS FORESTALES, CON VEGETACIÓN NATURAL Y ESPACIOS ABIERTOS.

3.1.1.01.1. Perennifolias esclerófilas y quejigales

3.1.1.02. Caducifolias y rebollares

3.1.1.03. Otras frondosas de plantación.

3.1.2.01. Pináceas

3.1.2.02. Sabineras y enebrales.

3.1.3. Bosque mixto

3.2.1.01. Pastizales supraforestales

3.2.1.02. Otros pastizales..

3.2.2.01. Landas y matorrales templado-oceánicos

3.2.2.02. Fayal-brezaal macaronésico.

3.2.3.01. Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso.

3.2.3.02. Matorrales subarbustivos o arbustivos muy poco densos

3.2.3.03. Matorrales xerófilos macaronésicos.

3.2.4. Matorral boscoso en transición

3.3.1. Playas dunas y arenales.

3.3.2. Roquedo.

3.3.3.02. Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión.

3.3.3.03. Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa.

SUPERFICIES DE AGUA

5.1.1.01. Rios y cauces naturales

5.1.2.01. Lagos y lagunas

5.1.2.02. Embalses.

2. Simplificación de las clases originales (simplificación de la leyenda).

La complejidad de la leyenda anteriormente explicada nos llevó a realizar una simplificación de las clases originales (recodificación de clases) y además a adaptar el tamaño de pixel de 20m. a 200m.

En la recodificación de las clases de la Comunidad de Madrid se ha pasado de un total de 46 clases a las 7 clases más representativas. La agrupación de las clases aparece reflejada en la tabla nº 13 y es la siguiente:

1. La clase 1 engloba todas las superficies artificiales.
2. La clase 2 unifica las zonas agrícolas de secano. Se incluyen además las clases correspondientes a terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural y la correspondiente a sistemas agroforestales.
3. La clase 3 agrupa otras zonas agrícolas de regadío.
4. La clase 4 las zonas húmedas y superficies de agua.
5. La clase 5 engloba espacios abiertos con poca vegetación.
6. La clase 6 ha sido denominada vegetación natural. La terminología utilizada en este caso puede no ser del todo correcta, porque también es vegetación natural gran parte de la clase 7; pero queríamos diferenciar los matorrales y los pastizales en una única clase y ésta es la terminología que nos ha parecido más indicada.
7. La clase 7 agrupa los espacio forestales.

El resultado de este proceso aparece reflejado en el mapa nº 17.

Tabla N° 13: Agrupación clases CORINE LAND COVER.

| CÓDIGO Y CLASE ORIGINAL | CÓDIGO Y CLASE RECODIFICADO |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1.1.1. Tejido urbano continuo | 1. SUPERFICIES ARTIFICIALES |
| 1.1.2.01. Estructura urbana laxa | |
| 1.1.2.02. Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas | |
| 1.2.1. Zonas industriales o comerciales | |
| 1.2.2.01. Autopistas, autovías y terrenos asociados | |
| 1.2.2.02. Terrenos Ferroviarios | |
| 1.2.4. Aeropuertos | |
| 1.3.1. Zonas de extracción minera | |
| 1.3.2. Escombreras y vertederos | |
| 1.3.3. Zonas en construcción | |
| 1.4.1. Zonas Verdes urbanas | |
| 1.4.2. Aeropuertos | |
| 2.1.1. Tierras de labor en secano | 2. ZONAS AGRICOLAS DE SECANO |
| 2.2.1. Viñedos | |
| 2.2.2.01. Frutales en secano | |
| 2.2.3. Olivares | |
| 2.3.1. Praderas | |
| 2.4.2.01. Mosaico de cultivos anuales con praderas y/o pastizales | |
| 2.4.2.02. Mosaico de cultivos Permanentes | |
| 2.4.2.03. Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes | |
| 2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural | |
| 2.4.4. Sistemas agroforestales | |
| 2.1.2.01. Cultivos herbáceos en regadío | 3 ZONAS AGRICOLAS DE REGADIO |
| 2.1.2.02. Otras zonas de irrigación | |
| 2.2.2.02.3. Otros Frutales de regadío | |
| 3.1.1.0.1.1. Perennifolias Esclerofolias y Quejigales | 4 FORESTAL |
| 3.1.1.02. Caducifolias y Rebollares | |
| 3.1.1.03. Otras Frondosas de Plantación | |
| 3.1.2.01. Pináceas | |
| 3.1.2.02. Sabinas y Enebrales | |
| 3.1.3. Bosque Mixto | |

| CÓDIGO Y CLASE ORIGINAL | CÓDIGO Y CLASE RECODIFICADO |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 3.2.1.01. Pastizales supraforestales | 5 VEGETACIÓN NATURAL |
| 3.2.1.02. Otros pastizales | |
| 3.2.2.01. Landas y Matorrales Templado-Oceánicos | |
| 3.2.2.02. Fayal-Brezal Macaronésico | |
| 3.2.3.01. Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso | |
| 3.2.3.02. Matorrales Subarbustivos muy poco densos | |
| 3.2.3.03. Matorrales xerófilos macaronésicos | |
| 3.2.4. Matorral boscoso de transición | 6 ESPACIOS ABIERTOS CON POCA VEGETACIÓN |
| 3.3.1. Playas, Dunas y Arenales | |
| 3.3.2. Roquedo | |
| 3.3.3.02. Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión | |
| 3.3.3.03. espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa | 7 ZONAS HUMEDAS Y SUPERFICIES DE AGUA |
| 5.1.1.01. Ríos y cauces naturales | |
| 5.1.2.01. Lagos y lagunas | |
| 5.1.2.02. Embalses | |

Fuente: Elaboración propia

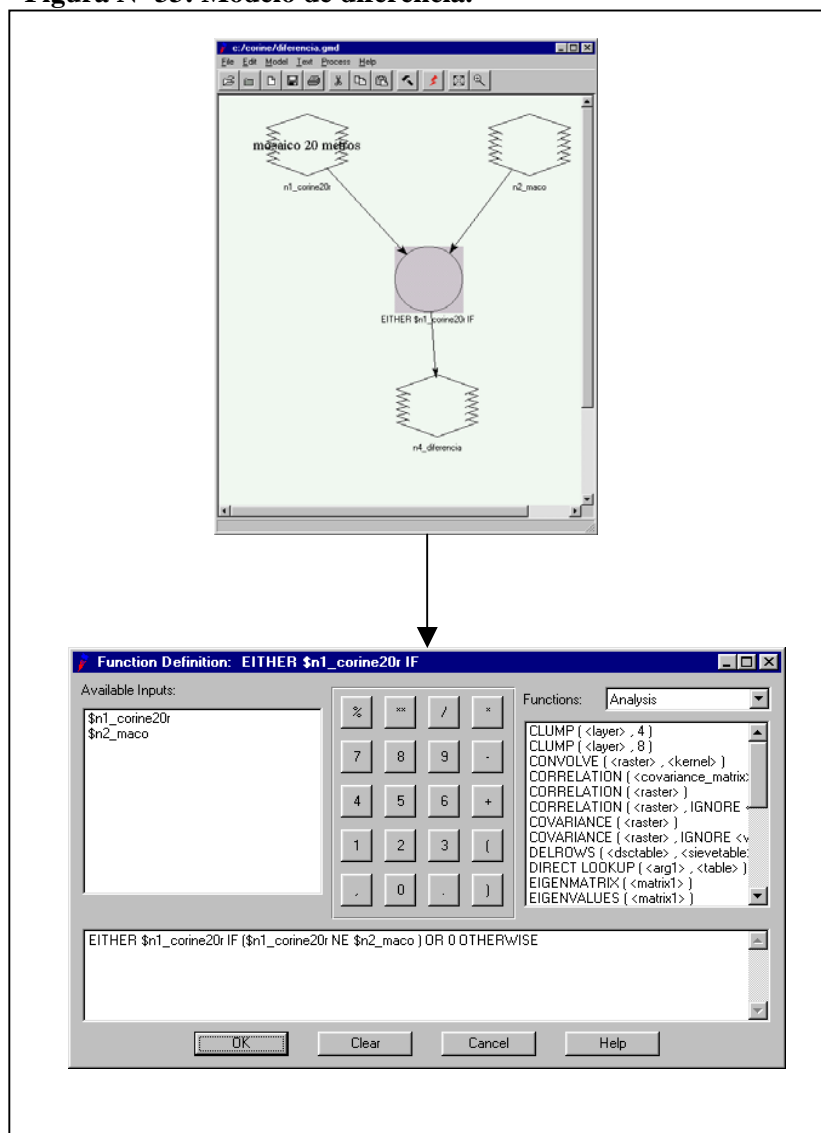
El cambio del tamaño original del pixel de 20m. a 200m. se ha realizado en primer lugar para adecuar la información del *CORINE LAND COVER* de Madrid a la información de base, procedente de la BCN200 y en segundo lugar para trabajar con ficheros de tamaño más pequeño que son mucho más operativos.

Antes de la decisión de trabajar con el fichero del *CORINE LAND COVER* de 200 m, comprobamos que no existían importantes modificaciones en las clases de ambos mapas (20m y 200m) que influyeran en resultados posteriores. Esta comprobación se realizó mediante la generación de un modelo con el *MODEL MAKER* (figura nº 33) que nos permitiera comprobar las diferencias entre ambos ficheros. Este modelo representa únicamente la resta entre ambos mapas el de 20m y el de 200m.

El mapa resultante del proceso anterior, es decir, el mapa diferencia, lo agrupamos en polígonos que podían dar problemas por constituir áreas muy grandes. Esta operación se realizó con la función *CLUMP* de ERDAS IMAGINE.

El resultado fue que prácticamente no existían diferencias en las clases al realizar la transformación del tamaño de pixel y que los polígonos que podían dar problemas eran mínimos (inferiores a un 15% y localizados en las zonas de bordes de las clases). Por todo ello, decidimos trabajar con el *CORINE LAND COVER* de la Comunidad de Madrid de 200m. de tamaño de pixel.

Figura N° 33: Modelo de diferencia.

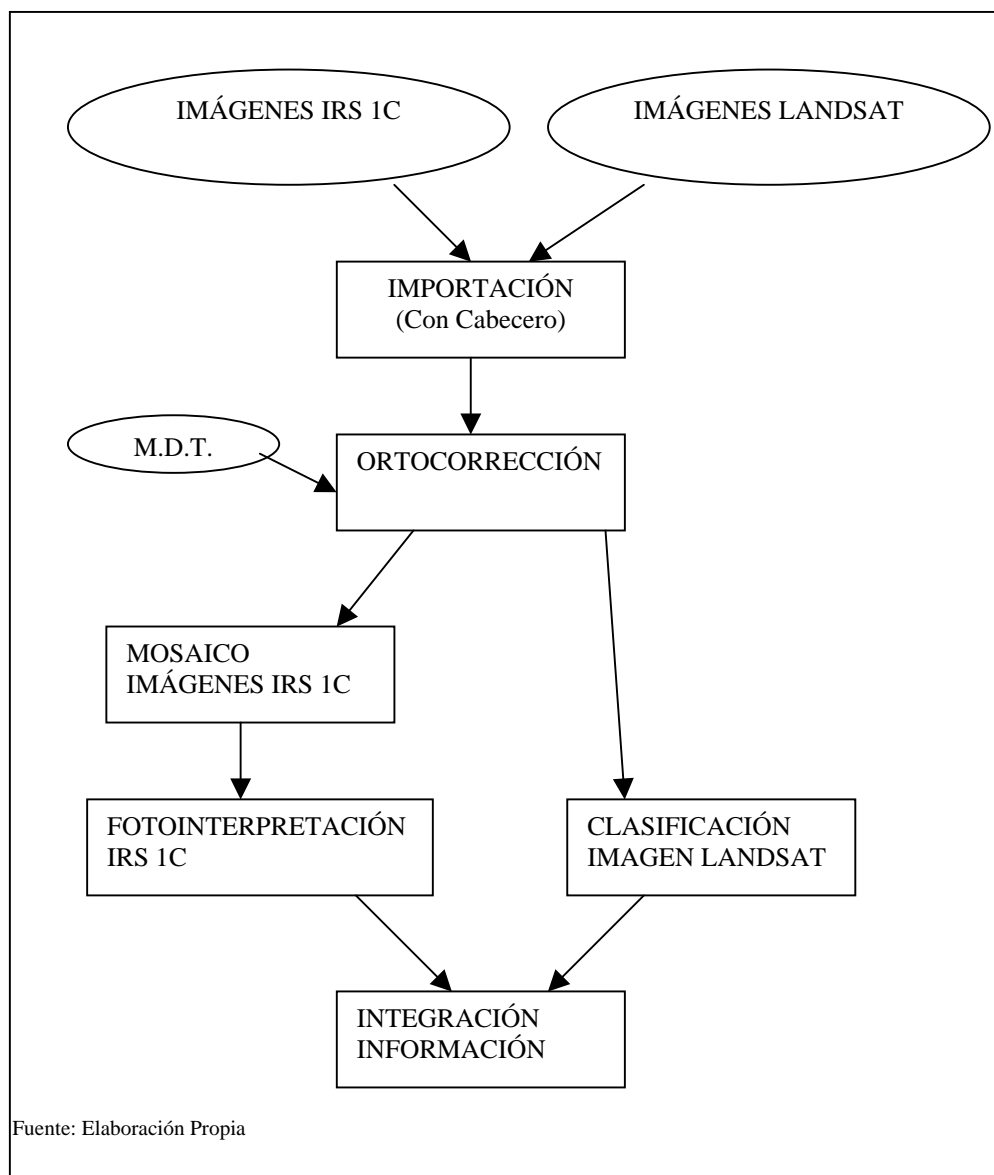


3.3. PROCESAMIENTO DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE

El tratamiento efectuado a las imágenes de satélite puede esquematizarse en los siguientes pasos (figura nº 34):

1. Importación de las imágenes de satélite, tanto de las imágenes LANDSAT como de las IRS-1C, utilizando el fichero de “cabecera” que poseen las imágenes. Este fichero contiene información sobre el tamaño de la imagen (número de filas y columnas), tipo de sensor, formato, etc. La importación de estas imágenes se llevó acabo con el módulo *IMPORT/EXPORT* del programa ERDAS IMAGINE.
2. Ortorección. Las imágenes LANDSAT TM se ortoregieron y posteriormente se remuestrearon por el método del “vecino más cercano”. Las imágenes IRS-1C se ortoregieron a través del módulo *RSG (Remote Sensing Software Package Graz)*, implementado en ERDAS IMAGINE. El *RSG* es un software desarrollado por el Joanneum Research de Graz (Austria), que permite realizar no sólo la rectificación polinómica, sino también la paramétrica, basada en la parametrización de modelos orbitales, de mucha mayor precisión. En estos procesos de ortorección también se tuvo en cuenta el Modelo Digital del Terreno. con el fin de obtener una mayor precisión.
3. Mosaico de las imágenes IRS-1C.
4. Fotointerpretación de las imágenes IRS 1C con el objetivo de cartografiar los núcleos urbanos a escala 1:25.000.
5. Clasificación de la Imagen LANDSAT TM supervisada y no supervisada con el fin de determinar los distintos usos del suelo.
6. Integración de fotointerpretación y clasificación.

Figura Nº 34: Esquema metodológico del procesamiento de las imágenes

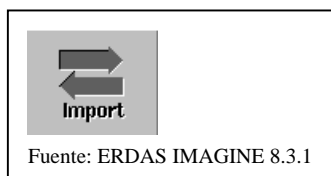


3.3.1. IMPORTACIÓN DE LAS IMÁGENES DE SATÉLITE

El primer paso que se debe realizar para poder trabajar con las imágenes de satélite es su importación, es decir, transformarlas a formato que pueda ser leído por cualquier software de proceso de imágenes. Las imágenes de satélite tienen su propio formato (*BSQ*⁶ en el caso de las LANDSAT TM).

Este proceso de importación es muy sencillo y se realiza directamente a través del módulo *IMPORT/EXPORT* de ERDAS IMAGINE (figura nº 35).

Figura Nº 35: Módulo IMPORT/EXPORT



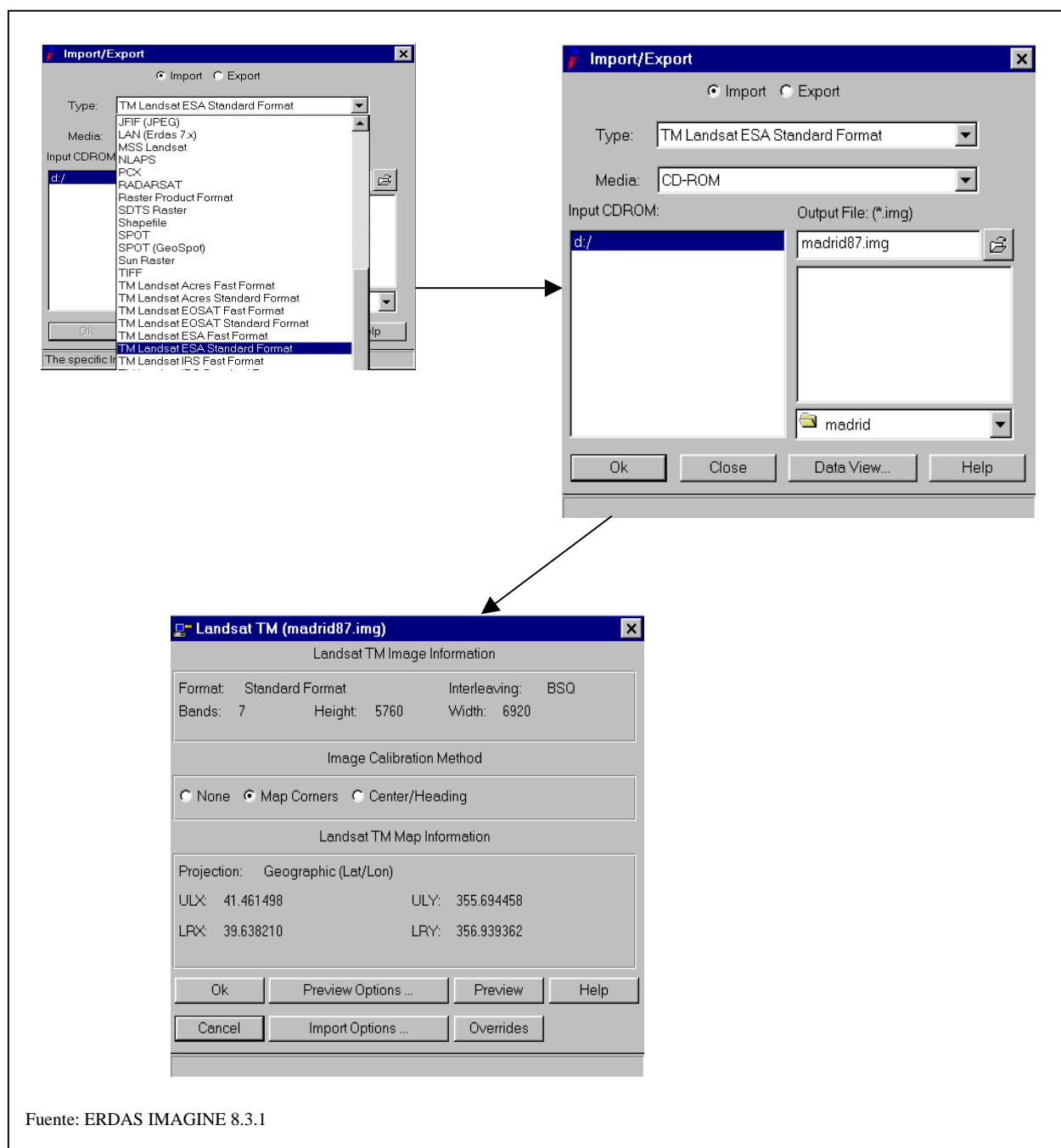
Vamos a detallar únicamente el proceso seguido con la importación de una de estas imágenes, la imagen LANDSAT TM perteneciente a la Comunidad de Madrid de fecha 12-09-1987 pues en el resto de las imágenes el proceso es el mismo.

El parámetro que debe indicarse es únicamente el tipo de imagen; en nuestro caso TM *Landsat Standard Format* o *IRS Standard Format* (figura nº 36). El siguiente paso consiste en indicar el soporte físico de almacenamiento que contiene la imagen (*Input*) en nuestro caso CD ROM, y el lugar y nombre del fichero que contendrá la imagen de destino (*Output*) (figura nº 36).

En este momento el sistema ya reconoce la información de la imagen: número de bandas, filas, columnas, formato. Posteriormente se procede a la importación de la imagen en formato **.img* que es el formato raster utilizado por ERDAS IMAGINE.

¹⁰ BSQ: Band Sequential. Bandas secuenciales. Los niveles digitales de cada banda se disponen uno a continuación del otro hasta completar todos los pixels de una banda. Tras ellos se sitúan los niveles digitales de la siguiente banda y así sucesivamente hasta completar todas las bandas espectrales.

Figura N° 36: Importación imágenes Landsat



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

3.3.2. ORTOCORRECCIÓN DE LAS IMÁGENES

3.3.2.1. Introducción

En el proceso de recepción de imágenes de satélite, se producen una serie de errores de origen diferente: el sensor, el satélite, el terreno, etc. Así mismo es necesario realizar la proyección de unos datos que originalmente tienen tres dimensiones (el terreno) a dos dimensiones (el mapa), según unos estándares (tipo de proyección) con el fin de mejorar su visualización y poder superponer la información derivada de diferente fuentes.

Los errores inherentes a toda imagen de satélite, que no ha sufrido ningún tratamiento más allá del efectuado por el centro suministrador de imágenes, se pueden clasificar en dos grupos, en función de los métodos usados para poder corregir estos errores: errores sistemáticos, aquellos que pueden corregirse utilizando datos de la distorsión interna del sensor y de las efemérides del satélite y errores no sistemáticos, aquellos que deben corregirse tomando en cuenta puntos de control comunes en la imagen y en el terreno.

Los errores sistemáticos pueden sintetizarse en :

- Errores debidos a la rotación de la Tierra durante la toma de la imagen.
- Errores debido a la distorsión panorámica provocadas por el propio sistema de barrido (los pixels laterales corresponden a una superficie mayor del terreno que las centrales).
- Curvatura de la Tierra.

Los errores no sistemáticos se pueden resumir en:

- Errores debidos a cambios de altitud, posición o velocidad del satélite:
- Errores derivados de los cambios de actitud del satélite: Cabeceo (*pitch*), Aleteo (*roll*) y Alabeo (*yaw*).

La rectificación de las imágenes es el proceso mediante el cual la geometría del área de una imagen se transforma en planimétrica (Rees, W.G., 1990). Este proceso no tiene porqué corregir la distorsión causada por la topografía del relieve en el desplazamiento de las imágenes.

El proceso de rectificación implica, casi siempre, la toma de detallados puntos de control (GCP) coordenadas del pixel, coordenadas de fichero (fila y columna), con sus correspondientes coordenadas en el mapa. Esta es la corrección geométrica más precisa de manera que cada pixel puede estar referenciado no solo por sus filas y columnas en una matriz después de terminar la rectificación, sino también tienen una rigurosa referencia en grados, metros o pies en un sistema de proyección estándar.

La medición de áreas y distancias implica necesariamente que las imágenes estén rectificadas geométricamente.

La ortorrectificación es un proceso en el que se pasa de una proyección cónica a una ortogonal. Por esta razón, hay que tener en cuenta y corregir el efecto de la topografía del terreno (Z). Esto es especialmente significativo cuando el terreno presenta un relieve considerable, porque es entonces cuando se produce en la imagen un error planimétrico.

El relieve produce un efecto de error en la toma de una imagen. Vamos a tratar de explicar este efecto a través de la figura nº 37.

Un punto cualquiera A de altitud Δz , sobre el plano de referencia, tiene su proyección ortogonal en A_I . En la perspectiva fotográfica a y a_I son los homólogos A y A_I . El error planimétrico que afecta a la imagen a_I viene determinado por el vector $a_I a$. A continuación vamos a explicar su magnitud, dirección y sentido:

La razón simple $\frac{NA'}{A_1A'}$ se conserva (fotografía vertical) en la proyección; por

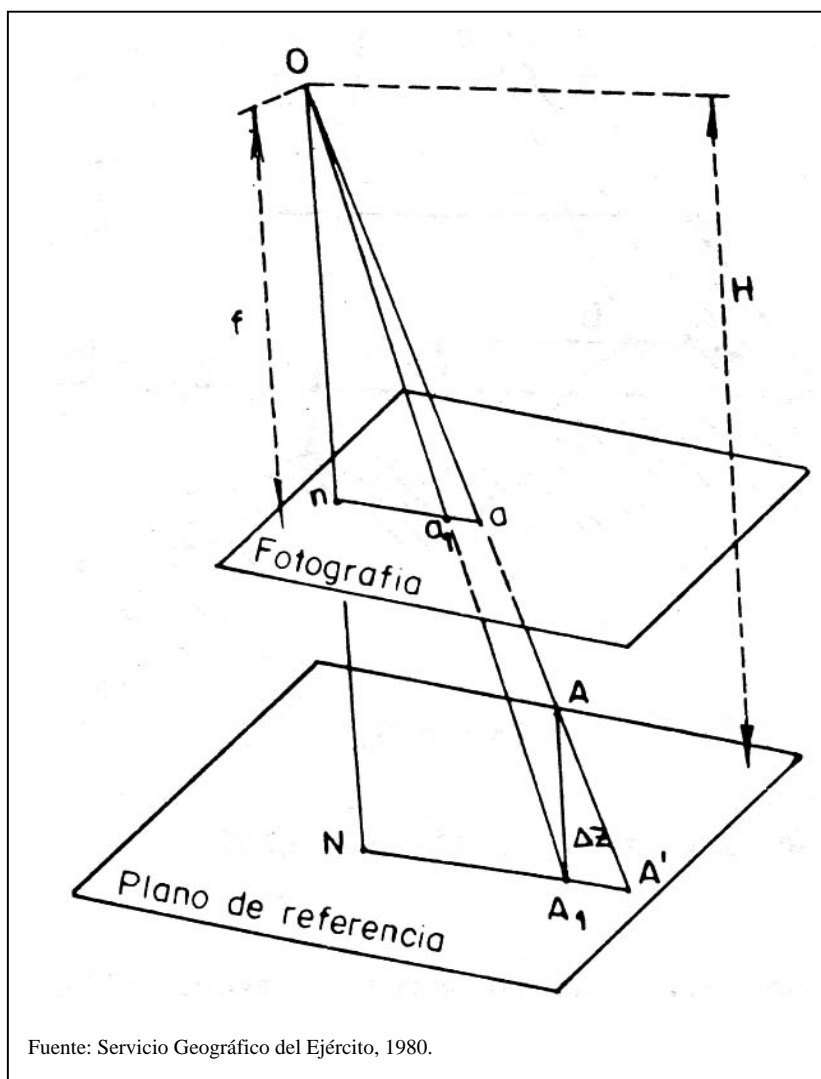
tanto: $\frac{NA'}{A_1A'} = \frac{na}{a_1a}$ pero $\frac{NA'}{A_1A'} = \frac{H}{\Delta z}$

(triángulos semejantes ONA' y AA_1A'). Luego: $\frac{na}{a_1a} = \frac{H}{\Delta z}$ y de aquí:

$$a_1a = na \frac{\Delta z}{H}$$

Llamando a na , r (distancia radial desde el nadir al punto a) y a a_1a , Δr (deformación), tendremos: $\Delta r = r \frac{\Delta z}{H}$

Figura N° 37: Deformación Planimétrica debida al relieve en una fotografía vertical



Según la figura nº 37 se deduce que la dirección de Δr pasa por el nadir y su sentido es tal que se aleja del mismo para puntos situados por encima del plano de referencia (Servicio Geográfico del Ejército, 1980).

¿Cuándo se debe rectificar una imagen?

- Para comparar la misma escena de diferentes fechas.
- Para desarrollar bases de datos para modelos GIS.
- Para identificar muestras para una clasificación.
- Para crear fotomapas a pequeña escala.
- Para superponer a capas *Raster*, capas vectoriales.
- Para comparar imágenes que están originalmente a distintas escalas.
- Para realizar medidas, tanto de áreas, como de distancias.
- Para realizar mosaicos.
- Para localizar geográficamente puntos y zonas necesarias para analizar.

A pesar de las ventajas o de la necesidad de rectificar las imágenes de satélite existen también algunas desventajas en la realización de este proceso. Durante la rectificación los valores de fichero son remuestreados a un sistema de filas y columnas en un nuevo sistema. Este proceso se realiza a través de un algoritmo que calcula estos valores finales a partir de los datos de fichero contenidos en la imagen original; durante el proceso pueden perderse algunos de estos valores espectrales por lo que una imagen no rectificada es espectralmente más correcta que una imagen rectificada. Por esta razón algunos especialistas recomiendan clasificar las imágenes antes de rectificarlas, ya que la clasificación estará basada en los valores originales.

¿Cuándo se debe ortorrectificar una imagen?

La ortorrectificación no es necesaria en áreas relativamente horizontales. Por el contrario es recomendable ortorrectificar en áreas montañosas (o en fotografías aéreas) donde se requiere un alto grado de precisión, es decir, cuando a una escala determinada la diferencia en altura provoca distorsiones al cartografiar.

La decisión de realizar una ortocorrección sobre las imágenes utilizadas en este trabajo en lugar de una corrección polinomial estándar, que no tome en cuenta el desplazamiento en altura, se debe al mayor grado de precisión cartográfica que supone el proceso de generación orto.

Un sensor a bordo de un satélite tiene una geometría compleja, la cual incluye factores como el espejo giratorio para la toma de imágenes dentro del sensor, variaciones del satélite de su órbita nominal, rotación de la Tierra, etc. La aplicación de una corrección polinomial típica, en la mayoría de los casos, no suele tener resultados muy precisos, incluso en las zonas relativamente planas.

Para el caso de la Comunidad de Madrid, en la que se encuentran relieves de cierta entidad, no se alcanza una precisión aceptable si no es teniendo en cuenta el efecto del desplazamiento introducido por el relieve.

Métodos tradicionales de rectificación de las imágenes de satélite.

Los dos métodos tradicionales para la corrección geométrica de las imágenes de satélite están basados bien en la búsqueda de puntos de control comunes en la imagen y en un mapa, o bien en el desarrollo del modelo orbital del satélite en el momento de la toma de la imagen.

- a) El método basado en los modelos orbitales se centra en el estudio de las deformaciones que se producen en la imagen debido a los diferentes parámetros de la órbita del satélite, la esfericidad de la Tierra, su movimiento

de rotación, etc. En este método se aplican unas matrices de deformación que permiten averiguar las posiciones de un punto de la imagen corregida (x,y) a partir de las coordenadas de ese mismo punto en la imagen original.

Este método presenta una serie de ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas podemos destacar:

- Poder corregir con mucha fiabilidad los errores sistemáticos mediante la solución de un sistema de ecuaciones en el cual se modeliza la geometría de la toma de la imagen.
- Se trata de un proceso basado en datos suministrados por la propia compañía distribuidora de las imágenes (LANDSAT TM, IRS 1C) por lo que la existencia de errores es más improbable que en el método basado en puntos de control.
- Mayor rapidez de este método frente al de puntos de control.

Sin embargo, presenta también una serie de inconvenientes que le hace ser un método menos utilizado que el de los puntos de control:

- No es capaz de corregir aquellos errores en las imágenes derivados de los errores no sistemáticos que se producen en el satélite durante la toma de la imagen.
 - Además otro imponderante puede llegar a ser el hecho de necesitar un software más especializado (al menos actualmente) para efectuar la corrección geométrica basada en el modelo orbital que el necesario para realizar correcciones basadas en puntos de control.
- b) El método de ajuste polinómico (puntos de control) se basa en averiguar de forma analítica las funciones a partir de los puntos comunes entre la imagen de referencia (x,y) y las de la imagen a transformar (p,q) .

El método basado en los puntos de control (GCP) presenta, al igual que el método anterior, ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas podemos destacar:

- Corrección de errores no sistemáticos.
- No es necesario un software de tratamiento de imagen de alto nivel para poder realizar este proceso.

Sin embargo, presenta también serias deficiencias referentes, tanto a su operatividad, como a la fiabilidad de los resultados que ofrece:

- La posibilidad de incluir puntos erróneos y no ser detectados es bastante alta, quedando a merced de un error del operador la posibilidad de generar un producto que no ha sido corregido perfectamente.
- La forma en que corrige ciertos errores sistemáticos como el error de la perspectiva, no se lleva a cabo desde un planteamiento correcto, que sería reconstruyendo las condiciones geométricas en el momento de la toma de la imagen (tomando en cuenta datos como: altura del satélite, ángulo de visión, etc.).
- Tiempo de ejecución que precisa una corrección basada en puntos de control: la toma de un mínimo de 40 puntos de control y su posterior refinamiento hace que para este proceso se emplee 5 veces más tiempo comparado con el método basado en modelos orbitales.

Los métodos empleados para realizar la ortorrectificación de las imágenes de satélite utilizadas en este trabajo contienen una serie de modificaciones con respecto a los métodos descritos anteriormente, pudiéndose considerar como un método mixto que recoge las ventajas de cada uno de los métodos explicados.

Las imágenes LANDSAT se van a corregir empleando el método de puntos de control (GCP), en el cual serán introducidos simultáneamente factores que corrijan el efecto de la topografía del terreno (z).

Las imágenes IRS 1-C van a corregirse mediante el método basado en el modelo orbital. Sin embargo, se contará con una serie de puntos de control (GCP) para inicializar las ecuaciones que modelizan la órbita y movimiento del sensor así como para el chequeo del resultado.

3.3.2.2. Proceso de ortorrectificación

El proceso de ortorrectificación de las imágenes de satélite en este trabajo se realiza según los siguientes pasos:

1. Localización de puntos de control (GCP). Este es un proceso análogo a todas las imágenes.
2. Generación de las funciones de transformación. Este proceso será radicalmente distinto en función del tipo de satélite que ha tomado la imagen.
3. Remuestreo de la imagen ortorrectificada. Este proceso será guiado por el mismo algoritmo en todas las imágenes.

El total de imágenes empleadas en la realización de este trabajo ha sido de cinco, tres de LANDSAT TM y dos de IRS 1C. Unicamente vamos a explicar de forma detallada el proceso de ortocorrección seguido para una imagen LANDSAT y para una IRS 1C debido a que el procedimiento es exactamente igual para el resto de las imágenes utilizadas.

1. Localización de los puntos de control (GCP)

1.a. Selección de puntos de control en la imagen LANDSAT TM.

La localización de los puntos de control debe realizarse de forma cuidadosa pues de ello depende la bondad de la corrección. La precisión en los puntos de control influirá en la precisión de la rectificación. La mayor dispersión de los GCPs favorecerá la precisión en el resultado del proceso de rectificación.

La introducción de los puntos de control, tanto las coordenadas de fichero, como las coordenadas de mapa, puede realizarse desde el teclado, mediante la selección de un pixel desde una imagen ya corregida que se esté visualizando en otro visualizador (*Viewer*) y mediante tableta digitalizadora.

El número de puntos que se deben dar depende del grado de las funciones de ajuste y éste depende a su vez de la mayor o menor aproximación que queramos obtener. Deben darse al menos tantos puntos como coeficientes tengan las funciones de transformación; aunque para asegurar un buen resultado el número deba ser mucho mayor.

Los puntos de control se han tomado de los mapas correspondientes al Mapa Topográfico Nacional 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (hojas correspondientes a la Comunidad de Madrid) y se han introducido en el ordenador mediante teclado. La relación de puntos de control empleados en la imagen LANDSAT TM para la aplicación de estas ecuaciones aparece reflejada en la tabla nº 14.

Tabla Nº 14: Puntos de Control de la imagen LANDSAT TM

| Nº PUNTO | COORDENADAS UTM | LOCALIZACIÓN |
|----------|---------------------|---------------------------------|
| 1 | 4543,6921-5659,4266 | Embalse de Valmayor |
| 2 | 3126,4637-4990,1634 | El Escorial |
| 3 | 6911,8542-5038,8344 | Urbanización Nuevo Club de Golf |
| 4 | 5447,2862-3632,9971 | Collado Villalba |
| 5 | 6339,1933-3430,9163 | Hoyo de Manzanares |
| 6 | 3495,8603-3781,525 | Cruce de caminos |

| | | |
|----|-----------------------|--------------------------------|
| 7 | 2969,7993-4316,832 | Urbanización La Pizarra |
| 8 | 1839,6794-6390,3762 | Entrada Tunel |
| 9 | 1841,1587-8834,2107 | Curva cerrada |
| 10 | 8635,3101-2468,2957 | Pol. Industrial Navarrosillos |
| 11 | 9524,2589-3186,9696 | Edificio ATT |
| 12 | 12168,9356-2383,389 | Urbanización Sto. Domingo |
| 13 | 10660,7349-3127,0128 | El Pardo |
| 14 | 8484,9667-4336,3361 | Embalse de El pardo |
| 15 | 10082,8666-4289,7011 | Depósito Agua |
| 16 | 11604,4415-4396,0057 | Dart Ibérica |
| 17 | 12823,9028-4225,397 | Paracuellos |
| 18 | 14610,8047-1352,5662 | Jardín Serracines |
| 19 | 13142,9614-2354,3994 | Algete, Fábrica Renault |
| 20 | 14185,0071-3690,1085 | Fábrica Gitesa |
| 21 | 13338,9153-2937,5763 | Depósito Cobeña |
| 22 | 5848,0626-411,1768 | Pista |
| 23 | 3772,0818-1442,3603 | Campo de Futbol |
| 24 | 2829,0999-3013,9012 | Cruce A-6 |
| 25 | 4825,7899-1378,1632 | Caminos, N de Becerril |
| 26 | 8140,9423-1445,4921 | Embalse de Santillana |
| 27 | 7999,8788-91,9191 | Soto |
| 28 | 11127,7533-832,8649 | Pol. Industrial S. Agustin |
| 29 | 1848,117-10269,9304 | Navas del Rey |
| 30 | 1872,4483-8285,1921 | El Robledo |
| 31 | 3956,5394-7422,1554 | Pte Urbanización Cerro Alarcón |
| 32 | 6938,8606-6567,5188 | Depuradora |
| 33 | 6556,2221-8861,9017 | Brunete |
| 34 | 4658,6709-9199,9329 | Cruce camino |
| 35 | 9636,1582-6687,4373 | Urb. Rosa Luxemburgo |
| 36 | 12250,4687-6262,219 | Talleres Ferrocarril |
| 37 | 9751,4422-8651,3202 | M-40 |
| 38 | 12096,9967-7476,8847 | Cruce M-40 |
| 39 | 14196,4023-5417,8997 | N-II Pte. Torrejón |
| 40 | 2254,5073-11524,7287 | Alberche |
| 41 | 1332,5252-13300,6232 | Monte de Batres |
| 42 | 4713,7055-11450,8659 | Villamonte |
| 43 | 6384,8886-10924,7017 | Navalcarnero |
| 44 | 7685,8884-11877,5324 | Urb. Cotorredondo |
| 45 | 10610,857-10353,6406 | Rotonda M-50 |
| 46 | 12791,4041-9695,5371 | Casa de la Aldehuela |
| 47 | 10270,219-12284,2125 | Torrejón de la Calzada |
| 48 | 12169,4655-11498,4747 | Almacen de El Corte Ingles |
| 49 | 13695,717-11688,9649 | San. Martín |

Fuente: Elaboración Propia

1.b. Selección de puntos de control en la imagen IRS 1-C.

La selección de los puntos de Control para la Imagen IRS 1-C se ha realizado tomando como referencia el Mapa Topográfico Nacional 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional (hojas correspondientes a la Comunidad de Madrid). La relación de puntos de control empleados en la imagen IRS 1-C aparece reflejada en la tabla nº 15.

Tabla Nº 15: Puntos de Control de la imagen IRS 1-C

| Nº PUNTO | COORDENADAS FICHERO | COORDENADAS UTM |
|----------|---------------------|-----------------|
| 1 | 8708;9315 | 432785;4488120 |
| 2 | 12057;6821 | 446641;4472449 |
| 3 | 12983;8459 | 452832;4479476 |
| 4 | 11849;11799 | 450692;4497018 |
| 5 | 12123;10145 | 450351;4488633 |
| 6 | 9441;11854 | 438980;4499792 |
| 7 | 10506;6619 | 438805;4473053 |
| 8 | 9083;4907 | 430129;4466148 |
| 9 | 14297;8122 | 458893;4476456 |
| 10 | 14346;5192 | 456133;4462076 |
| 11 | 698;4699 | 388946;4473754 |
| 12 | 6654;6107 | 419432;4474481 |
| 13 | 3988;6583 | 406878;4479644 |
| 14 | 7613;12876 | 431054;4506728 |
| 15 | 6517;3518 | 416192;4462052 |
| 16 | 7840;3712 | 422345;4460952 |
| 17 | 12927;12541 | 456674;4499561 |
| 18 | 10921;4175 | 438306;4460686 |
| 19 | 13728;2690 | 450587;4450528 |
| 20 | 10199;7643 | 438388;4478373 |
| 21 | 9394;7402 | 434185;4478005 |
| 22 | 10910;3084 | 437219;4455348 |
| 23 | 10508;1589 | 433710;4448469 |
| 24 | 8263;11711 | 433072;4500285 |
| 25 | 11499;9516 | 446634;4486183 |
| 26 | 12308;7811 | 448985;4476946 |
| 27 | 11167;6925 | 442359;4473858 |

Fuente: Elaboración Propia

2. Generación de las funciones de transformación

2.a Generación de las funciones de transformación en la imagen LANDSAT TM.

Para la generación de las ecuaciones de transformación en la imagen LANDSAT TM, se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

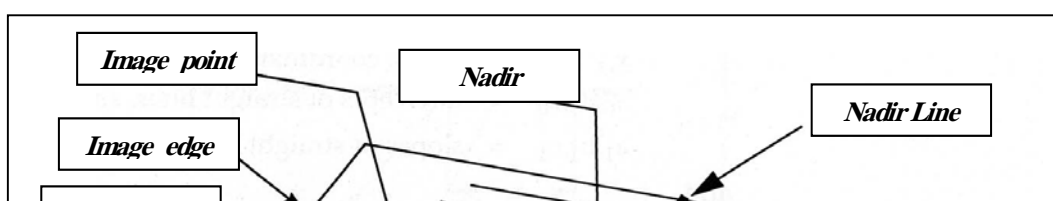
- Elevación (relieve del terreno), extraído del Modelo Digital del Terreno.
- Curvatura local de la Tierra.
- Distancia al nadir.
- Altura de vuelo del satélite respecto al Datum.

Las imágenes corregidas se han conseguido mediante una función de transformación en la que a partir de coordenadas de fichero se obtienen coordenadas de mapa. Esta función se ha derivado mediante un proceso de ajuste de mínimos cuadrados a partir de los puntos de control. La función es controlada además por una serie de índices que miden la bondad del ajuste.

A continuación, se expone el proceso del cual se ha derivado la función de transformación. Para su mejor comprensión se estima adecuado la definición de una serie de conceptos.

Línea nadiral. Esta línea es derivada matemáticamente mediante los puntos de nadir sucesivos a lo largo de la imagen. El punto de nadir para una línea de una imagen se asume que es el centro. De este modo la línea de nadir se refleja en la figura nº 38.

Figura N° 38: Línea de nadir



Los bordes de la imagen se pueden determinar mediante un sistema de búsqueda basado en umbrales de niveles de gris, de manera que se diferencie entre la imagen y aquella zona del fichero que constituya el fondo (*background*). Una vez se han determinado puntos individuales de borde de la imagen se obtiene la línea de borde mediante un ajuste de mínimos cuadrados. La línea nadiral se consigue entonces calculando el punto medio entre los bordes izquierdo y derecho de la imagen. Generalmente se simplifica de manera que la línea nadiral constituya una recta.

Borde derecho: $x = a_0 + a_1y$

Borde izquierdo: $x = b_0 + b_1y$

Línea nadiral: $x = c_0 + c_1y$

donde

x, y : Coordenadas de imagen.

a_0, b_0, c_0 : Términos independientes (desplazamientos) de las ecuaciones de las líneas rectas.

a_1, b_1, c_1 : Pendientes de las ecuaciones de las líneas rectas.

Entonces,

$$c_0 = 0.5 * (a_0 + b_0)$$

$$c_1 = 0.5 * (a_1 + b_1)$$

A partir de aquí se puede determinar la distancia de un punto al nadir a largo de la línea de una imagen de la siguiente forma:

$$d = \left(\frac{\sqrt{1 + g_1^2}}{1 - c_1 g_1} \right) (x - c_0 - c_1 y)$$

donde:

g_1 es la pendiente de una línea cualquiera de la imagen (de ecuación $y = g_0 + g_1 x$), la cual puede ser obtenida basándose en los bordes superior e inferior de la imagen mediante un método similar al empleado para los bordes izquierdo y derecho.

Desplazamiento. Además de la línea nadiral, otro concepto importante es el del desplazamiento, que se define como el grado de distorsión geométrica de un punto que no está en la línea nadiral (se parte de la base de que los puntos sobre la línea nadiral no presentan ninguna distorsión). El desplazamiento de un punto que está sobre una línea concreta de una imagen está basado en su relación entre ese punto con el nadir de esa línea (figura n° 39)

Donde:

R : radio de curvatura local de la tierra en el nadir.

H : altura de vuelo del satélite sobre el datum en el nadir

Δd : desplazamiento

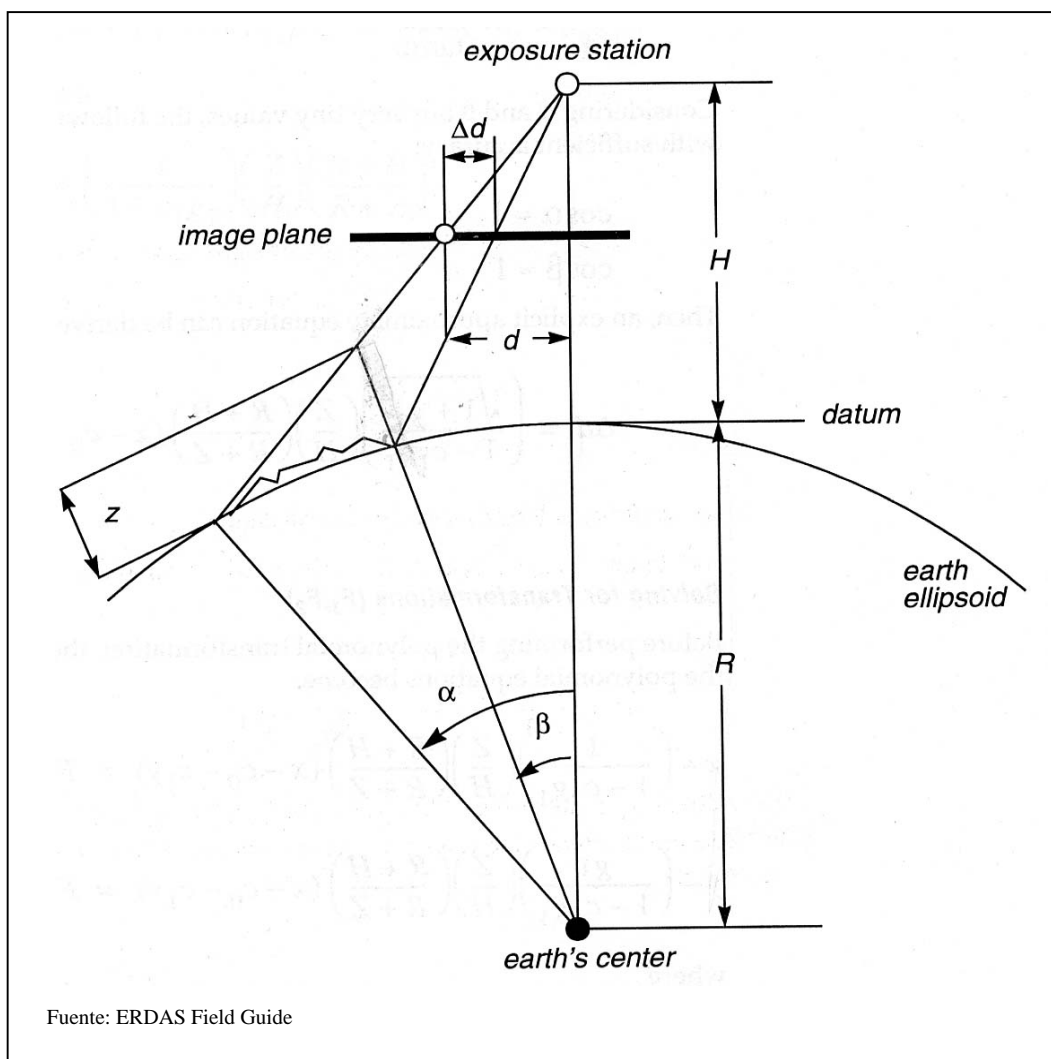
d : distancia de un punto en la imagen al nadir (en una misma línea)

Z : elevación de un punto en el terreno

α : ángulo entre el nadir y un punto en la imagen antes del ajuste debido al desplazamiento producido por el relieve.

β : ángulo entre el nadir y un punto en la imagen, trazado desde una vista vertical.

Figura N° 39: Desplazamiento de la imagen



Una vez definidos los conceptos de línea nadiral y desplazamiento vamos a centrarnos en el proceso de generación de las funciones de transformación. A

modo de síntesis, la función polinomial ha de corregir el efecto de desplazamiento, así como el efecto del relieve.

La resolución del desplazamiento se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{(R+Z)\sin\beta}{(R+H)-(R+Z)\cos\beta} = \frac{R\sin\alpha}{R+H-R\cos\alpha} \quad \frac{\Delta d}{d} = 1 - \frac{\tan\beta}{\tan\alpha}$$

Considerando que los valores de α y de β son muy próximos a 0, se puede usar con suficiente precisión:

$$\cos\alpha = 1$$

$$\cos\beta = 1$$

De esta forma una ecuación aproximada resuelve el desplazamiento en la función de transformación, tomando la siguiente forma:

$$\Delta d = \left(\frac{\sqrt{1+g_1^2}}{1-c_1g_1} \right) \left(\frac{Z}{H} \right) \left(\frac{R+H}{R+Z} \right) (x-c_0-c_1y)$$

Introduciendo el factor que resuelve el desplazamiento en la función de transformación, las ecuaciones finales que permiten ortocorregir las imágenes utilizadas en este trabajo son:

$$x - \left(\frac{1}{1-c_1g_1} \right) \left(\frac{Z}{H} \right) \left(\frac{R+H}{R+Z} \right) (x-c_0-c_1y) = F_1(X,Y)$$

$$y - \left(\frac{g_1}{1-c_1g_1} \right) \left(\frac{Z}{H} \right) \left(\frac{R+H}{R+Z} \right) (x-c_0-c_1y) = F_2(X,Y)$$

donde:

X, Y, Z : coordenadas tridimensionales de un punto.

x, y : coordenadas de imagen.

F_1, F_2 : expresiones polinomiales de la forma.

$$F_1 = A_0 + A_1X + A_2Y + A_3X^2 + A_4XY + A_5Y^2 + \dots$$

$$F_2 = B_0 + B_1X + B_2Y + B_3X^2 + B_4XY + B_5Y^2 + \dots$$

A_i, B_i = coeficientes de transformación polinomial. Estos coeficientes han sido calculados mediante mínimos cuadrados.

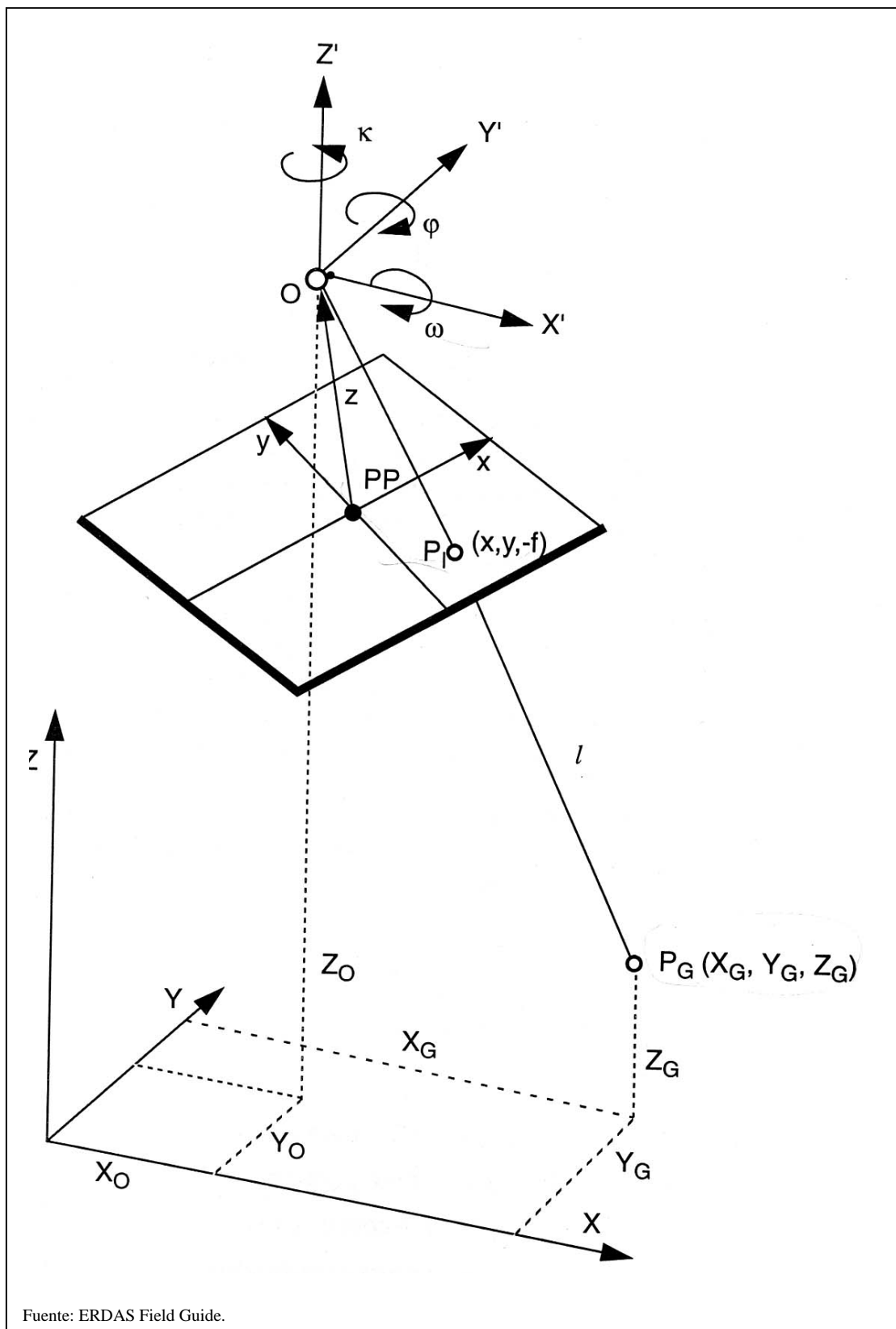
Los errores medios cuadráticos en el ajuste de esta función fueron en $X=0,25$ en $Y=0,25$ y el error medio cuadrático total fue de 0,35 con los puntos anteriormente especificados en la tabla nº 14.

2.b Generación de las funciones de transformación en la imagen IRS 1- C.

El proceso de toma de una imagen IRC 1C es radicalmente distinto del de la toma de una imagen LANDSAT TM; de hecho se establecen analogías entre la geometría de la toma de la imagen IRS 1C con la toma de la imagen de fotografías aéreas. Por esta razón vamos a empezar planteando los parámetros que intervienen y miden la toma de una fotografía aérea para posteriormente complementarlo con los factores particulares de las imágenes IRC 1C.

Partiendo de un modelo óptico para fotografía aérea (figura nº 40) las coordenadas de cualquier punto del fotograma se obtienen mediante la orientación de éste por medio de las ecuaciones de colinealidad.

Figura N° 40: Orientación exterior de una foto aérea.



La orientación exterior está determinada por la relación entre las coordenadas de la imagen y las del mapa. Cada imagen de foto aérea tiene 6 parámetros de orientación. Las 3 coordenadas de la perspectiva central en el terreno y los tres ángulos de rotación.

Donde:

PP = Punto principal

O = perspectiva central con las coordenadas del terreno (X_o, Y_o, Z_o)

$O-x, O-y, O-z$ = coordenadas de la imagen con origen en la perspectiva central y las x, y en el eje paralelo del sistema de ejes.

X_G, Y_G, Z_G = Coordenadas del terreno (mapa)

$O-X', O-Y', O-Z' = (\omega, \varphi, \kappa)$.

ω = omega ángulo de rotación en el eje de la X'

φ = phi ángulo de rotación en el eje de la Y'

κ = kappa ángulo de rotación en el eje de la Z'

P_I = Punto en la imagen

P_G = Punto en el terreno

La relación entre coordenadas de fichero y coordenadas de mapa queda establecida a través de las ecuaciones de colinealidad:

$$x = -f \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = -f \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

donde:

x, y = Coordenadas de la imagen

X, Y, Z = Coordenadas del terreno

F = distancia focal

X_0, Y_0, Z_0 = Coordenadas del terreno del punto principal.

$r_{11}-r_{13}$ = Coeficientes de la matriz de rotación, definida por los ángulos ω , φ , κ , que transforman las coordenadas originales en coordenadas de mapa (terreno).

Estos coeficientes constituyen lo que se denomina matriz de giro o matriz de rotación cuyo calculo es (Erdas, 1994):

$$M = \begin{bmatrix} co*ck & so*sp*ck + co*sk & -co*sp*ck + so*sk \\ -cp*sk & -so*sp*sk + co*ck & co*sp*ck + so*ck \\ sp & so*cp & -co*sp*ck + so*sk \end{bmatrix}$$

dónde:

co = coseno omega

so = seno omega

cp = coseno phi

sp = seno phi

ck = coseno kappa

sk = seno kappa

Omega, Phi y Kappa son *roll, pitch, yaw* respectivamente.

Las particularidades que hacen diferente un fotograma de fotografía aérea a una imagen IRS 1C se basan en que todo lo expuesto afecta en fotografía aérea a un fotograma, es decir, existe una única matriz de giro y un único punto principal por fotograma.

En el caso de una imagen IRS 1C, sin embargo, tendrá que considerarse como “instantáneo” el momento de la toma de una línea de la imagen; de esta forma tendremos los anteriores parámetros (matriz de giro y punto principal) para cada una de las líneas de la imagen.

La forma de resolverlo será mediante la modelización teórica de la órbita del satélite y de los cambios de actitud que se puedan producir mientras se realiza la toma de la imagen.

En líneas generales, se generaran funciones que modelizen tanto el camino seguido por el satélite, como los discretos cambios de actitud. A través de esta función se podrán calcular para cada momento de la toma de la imagen cuales son los parámetros que definitivamente relacionan las coordenadas de fichero con los de mapa (matriz de giro y punto principal).

Como datos iniciales de este proceso se contará con:

- Datos de cabecera del satélite.
- Modelo orbital teórico.
- Puntos de control.

Los pasos que deben realizarse son en primer lugar la generación o inicialización de la ecuación de la órbita y en segundo lugar el ajuste de la ecuación de la órbita.

1. Generación o inicialización de la ecuación de la órbita (figura nº 41).

En la figura nº 41 se observa como se generan unos puntos que pertenecen a la órbita que ha seguido el satélite. Estos puntos serán los que mediante un ajuste de mínimos cuadrados darán lugar a la función que modeliza la órbita.

Figura N° 41: Inicialización de la ecuación de la órbita.

Set-Up Geometric Model

Orbit:

Number of orbit points:

Number of orbit scan lines:

Sensor flying height [m]:

Incidence angle [deg]:

Along-track tilt [deg]:

Pixel size [m]:

Type of orbit polynomial:

Calculate orbit ...

Type of attitude polynomial:

Orthometric correction:

List model ...

Apply Close Help

Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1.

Para la resolución de esta imagen se han calculado cuatro puntos que son los siguientes:

| Nr | Line/Time | X[m] | Y[m] | Z[m] |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| -7250 | -5.4512750 | 5449344.18 | -334623.65 | 4672580.13 |
| -2417 | -1.8173423 | 5466378.72 | -341086.99 | 4652293.13 |
| 2416 | 1.8165904 | 5483334.52 | -347546.16 | 4631939.0 |
| 7249 | 5.4505231 | 5500211.31 | -354001.13 | 4611518.08 |

Mediante estos puntos se generan los coeficientes de la función que modelizan el movimiento del sensor y del satélite. En el caso que nos ocupa se ha construido una función con las siguientes características:

- Una ecuación de 2° orden que modeliza la órbita del satélite.
- La actitud del satélite presuponemos que ha variado siguiendo una función lineal.

| Orbit polynomial coefficients: | X | Y | Z |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| Constant term: | 5474868.23 | -344317.77 | 4642122.33 |
| Linear term: | 4665.9396 | -1777.4574 | -5601.1043 |
| Quadratic term: | -2.986395 | 0.158513 | -2.535416 |
| Cubic term: | 0.00000000 | 0.00000000 | 0.00000000 |

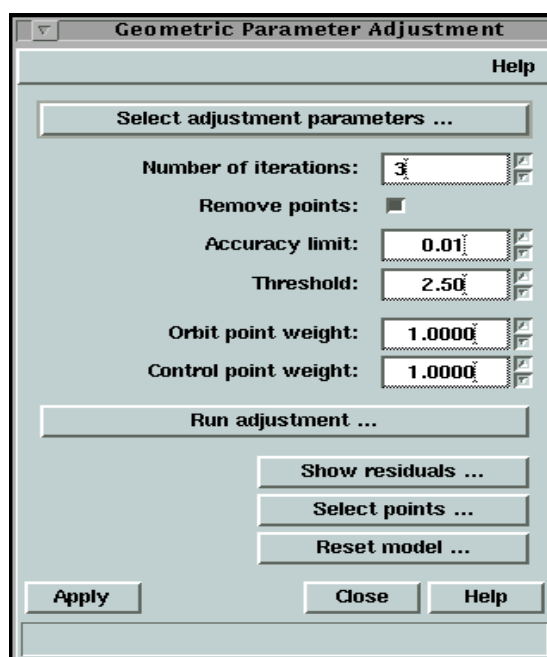
Los errores del ajuste son:

| Nr | Line/Time | DX[m] | DY[m] | DZ[m] |
|------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| -7250 | -5.4512750 | -0.01 | 0.00 | 0.02 |
| -2417 | -1.8173423 | 0.04 | 0.00 | -0.05 |
| 2416 | 1.8165904 | -0.04 | 0.00 | 0.05 |
| 7249 | 5.4505231 | 0.01 | 0.00 | -0.02 |
| RMS | | 0.03 | 0.00 | 0.04 |

2. Ajuste de la ecuación de la órbita.

Partiendo de la ecuación generada en el proceso anterior y de los GCP', el siguiente proceso es el "ajuste fino" de la función final (figura nº 42).

Figura Nº 42: Ajuste de la ecuación de la órbita.



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1.

Para este cálculo se ha hecho que tenga tanta importancia los puntos de control como la órbita teórica generada con anterioridad (ambas tienen el mismo peso).

La función final obtenida es:

PARAMETER ADJUSTMENT RESULTS

| | INITIAL | INCREMENT | ADJUSTED |
|----------------------|----------------|-----------|----------------|
| Orbit - X: Constant: | 5474923.872418 | -0.000019 | 5474923.872400 |
| Linear: | 4673.871871 | 0.000000 | 4673.871871 |
| Quadratic: | -3.061676 | 0.000001 | -3.061675 |
| Cubic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Orbit - Y: Constant: | -344351.041573 | 0.000064 | 344351.041510 |
| Linear: | -1786.830008 | 0.000004 | -1786.830004 |
| Quadratic: | 0.165302 | -0.000004 | 0.165299 |
| Cubic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Orbit - Z: Constant: | 4642054.659047 | 0.000025 | 4642054.659073 |
| Linear: | -5611.241408 | 0.000000 | -5611.241408 |
| Quadratic: | -2.470920 | -0.000002 | -2.470921 |
| Cubic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Omega: Constant: | 0.031245 | -0.000577 | 0.030668 |
| Linear: | -0.000006 | 0.000000 | -0.000006 |
| Quadratic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Cubic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Phi: Constant: | 0.000000 | 0.000015 | 0.000015 |
| Linear: | -0.000017 | 0.000000 | -0.000017 |
| Quadratic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Cubic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Kapp: Constant: | 0.000000 | 0.003002 | 0.003002 |
| Linear: | -0.000110 | 0.000000 | -0.000110 |
| Quadratic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Cubic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Orthocorr: Constant: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Linear: | 1.000000 | 1.000000 | |
| Quadratic: | 0.000000 | 0.000000 | |
| Cubic: | 0.000000 | 0.000000 | |

Focal Length: 163501.602538 -106.478440 163395.124098

Los errores de ajuste de esta función son:

| Control points: 23 | Res-X | Res-Y | Res-XY |
|---------------------------|--------------|--------------|---------------|
| RMS | 4.20 | 4.30 | 6.01 |
| MEAN | 0.00 | 0.00 | 5.35 |
| STD | 4.20 | 4.30 | 2.74 |
| MIN | -7.27 | -13.21 | 1.18 |
| MAX | 8.33 | 6.61 | 13.22 |
| MIN | 0.22 | 0.06 | 1.18 |
| MAX | 8.33 | 13.21 | 13.22 |

Se han utilizado además cuatro puntos de chequeo sobre la función generada y los resultados son los siguientes:

| Check points : | 4 Res-X | Res-Y | Res-XY |
|-----------------------|----------------|--------------|---------------|
| RMS | 74.69 | 39.80 | 84.63 |
| MEAN | 47.16 | -3.33 | 60.58 |
| STD | 57.92 | 39.66 | 59.10 |
| MIN | 9.27 | -68.06 | 16.32 |
| MAX | 47.37 | 29.69 | 162.33 |
| MIN | 9.27 | 3.43 | 6.32 |
| MAX | 147.37 | 68.06 | 162.33 |

Mediante la función generada, permitirá conocer en cada momento los parámetros necesarios para la resolución de la ecuación de colinealidad (focal, punto principal y matriz de giro). A través de esta ecuación se obtendrán las coordenadas mapa partiendo de las coordenadas de fichero, para cualquier punto de la imagen.

3 Remuestreo de la imagen ortorectificada.

En las imágenes tomadas a bordo de satélites hay una serie de distorsiones geométricas de diferente origen. Una vez obtenidas las ecuaciones de transformación es necesario aplicarlas para la generación de una nueva imagen. Mediante las ecuaciones de transformación se halla la localización en la imagen original (fila y columna) de un determinado pixel de la imagen corregida (expresada esta posición en coordenadas de mapa).

La mayor parte de los casos las localizaciones resultantes en la imagen original no son un número entero de fila y/o columna por lo que se hace necesario calcular el mejor valor digital (ND) posible de ese pixel en la imagen corregida. Este proceso se denomina *resampling* o interpolación y puede realizarse con diferentes métodos:

- Vecino más cercano (*Nearest Neighbor*).
- Interpolación bilineal (*Bilinear Interpolation*).
- Convolución cúbica (*Cubic Convolution*).

En todos los métodos el número de filas y columnas de los pixels en la imagen de salida se calculan desde las dimensiones del fichero de salida (con coordenadas de mapa), determinada por el tamaño de celda y el orden de transformación.

La forma de proceder es la misma independientemente del método. Se parte de unas coordenadas de mapa del centro de un pixel al que se le quiere asignar un valor de Nivel Digital. A ese pixel, se le aplica la inversa de la función de transformación con lo que se obtienen unas coordenadas de fichero. Una vez determinada la posición en el fichero tenemos que decidir a que valor digital debe ser asignado; esto puede realizarse desde el método más simple (asignar el

nivel digital del pixel más cercano al punto resultante) a métodos de cálculos promediados más sofisticados.

- Nearest neighbor.

Método de rectificación del "vecino más cercano". Esta técnica como su propio nombre indica, usa el valor en la imagen original del pixel más próximo a la localización resultante de las ecuaciones de transformación para el pixel a rellenar en la imagen corregida. Esto quiere decir que si el punto está entre dos filas y dos columnas, el pixel más cercano a esa localización (el vecino más próximo) será el utilizado para dar valor al pixel en la imagen de salida.

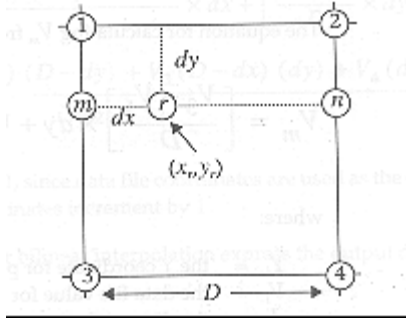
| NEAREST NEIGHBOR | RESAMPLING |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
| Los datos originales son transferidos sin realizar la media, como hacen los otros métodos; los valores extremos de los datos no se pierden. Es muy importante cuando se discrimina entre tipos de vegetación | Para imágenes grandes y con un tamaño de celda grande, normalmente hay efecto "escalera" alrededor de la diagonal. |
| Recomendado para utilizar antes de una clasificación. | El número de ciertos pixels puede disminuir y el de otros aumentar. |
| Método de cálculo más fácil y rápido. | Utilizando datos temáticos lineales (carreteras), pueden producirse rupturas. |
| Apropiado para ficheros temáticos, que pueden tener valores de fichero basados en un sistema cualitativo (nominal u ordinal) o cuantitativo (intervalo o ratio). | |

- Interpolación Bilineal.

El valor de fichero del pixel rectificado está basado en los valores de los 4 pixels (en una ventana de 2x2) más cercanos a las coordenadas retransformadas. El peso de cada uno de estos pixels se calcula mediante una función bilineal (figura nº 43)

Figura Nº 43: Interpolación Bilineal



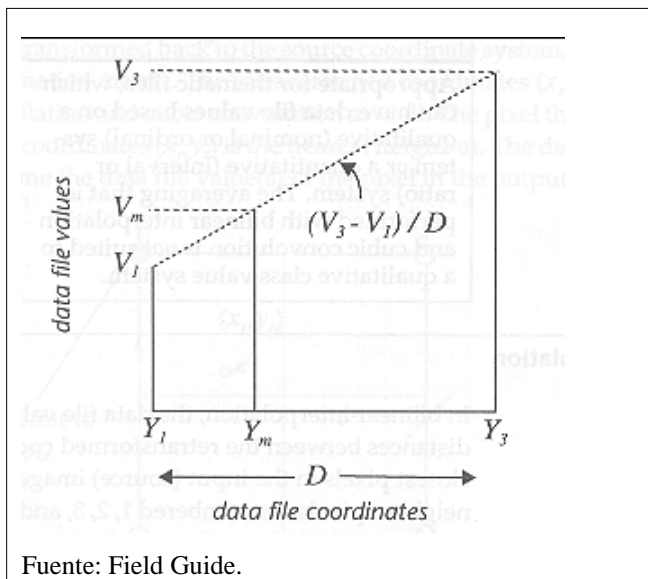


Fuente: ERDAS Field Guide.

r es la localización de la coordenada retransformada

Para calcular V_r , es necesario primero conocer V_m y V_n . El valor de fichero de m (V_m) es una función de cambio en el valor de fichero entre los píxeles 3 y 1 (que es $V_3 - V_1$) (figura nº 44)

Figura Nº 44: Interpolación Lineal



Fuente: Field Guide.

La ecuación para el cálculo V_m desde V_1 y V_3 es:

$$V_m = \left[\frac{V_3 - V_1}{D} \right] * dy + V_1$$

donde:

Y_i = la coordenada Y para el píxel i

V_i = el valor de dato para el píxel i

dy = la distancia entre Y_l y Y_m según el sistema de coordenadas fuente

D = Distancia entre Y_l y Y_3 según el sistema de coordenadas fuente.

Considerando que $((V_3 - V_l) / D)$ es la pendiente de la línea en el gráfico, entonces esta ecuación es trasladada a la ecuación de la recta en la forma $y = mx + b$

De forma similar, la ecuación para el cálculo del valor de fichero para n (V_n) en el sistema de pixels.

$$V_n = \left[\frac{V_4 - V_2}{D} \right] * dy + V_2$$

A partir de V_n y V_m , el valor de fichero para r (que es a la localización de las coordenadas retransformadas (x_r, y_r)) pueden ser calculadas de la misma manera.

$$V_r = \left[\frac{V_n - V_m}{D} \right] * dx + V_m$$

Algunas ecuaciones para interpolación bilineal expresan el valor del dato de salida como:

$$V_r = \sum w_i V_i$$

donde : w_i = factor de peso en función de la distancia.

V_i = el valor de fichero del pixel i

| BILINEAR | INTERPOLATION |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
| La imagen de salida aparece con unos valores más uniformes, sin el "efecto escalera" que aparece en el método <i>Nearest Neighbor</i> . | Debido a que los pixels son promediados, la interpolación bilineal tiene el efecto de una convolución de baja frecuencia. Los cortes son suaves y algunos extremos del valor de fichero son bajos. |
| Especialmente es un método más fiable que el <i>Nearest Neighbor</i> . | |
| Utilizado para cambios en el tamaño de celda del pixel. | |

- Convolución Cúbica.

La convolución cúbica es similar a la interpolación bilineal excepto que utiliza los datos de 16 pixels en una ventana de 4 x 4 para calcular el valor de salida con una función cúbica. Un grupo de 16 pixels, distribuidos en 4 x 4, son promediados para determinar la salida de los valores de datos. La función de interpolación se aproxima más a una función cúbica que a una función bilineal

Para identificar los 16 pixels en relación con las coordenadas retransformadas (x_r, y_r) , el pixel (i, j) es utilizado como:

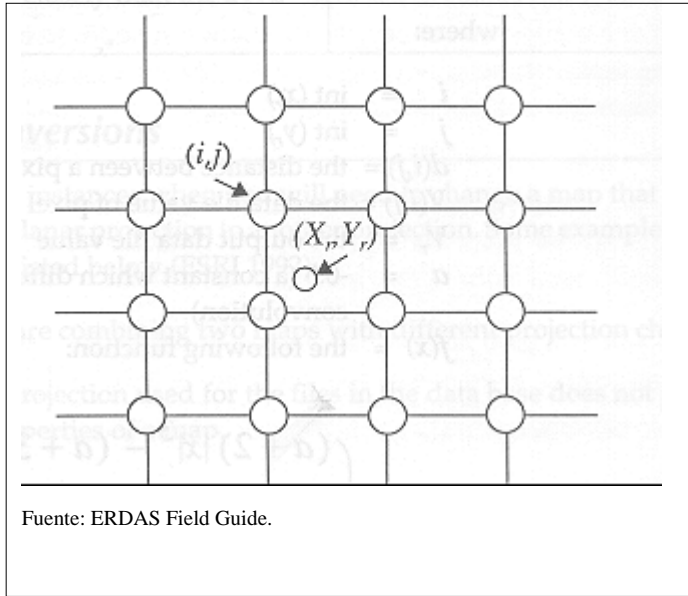
$$i = \text{int}(x_r)$$

$$j = \text{int}(y_r)$$

asumiendo que (x_r, y_r) está expresado en coordenadas de fichero (pixels). Los pixels circundantes a (i, j) forman una ventana de 4 x 4 de pixels que se está interpolando en la imagen de salida, como aparece en la figura nº 45.

Se utiliza entonces una función cúbica para ponderar los 16 pixels de entrada; los pixels más lejanos de (x_r, y_r) tienen exponencialmente menor peso que los más cercanos a (x_r, y_r) .

Figura N° 45: Convolución Cúbica



En la actualidad, hay varias versiones de la ecuación de la convolución cúbica. Según la ecuación utilizada los efectos en los valores de salida serán diferentes. Algunas convoluciones quizás tengan un efecto similar a un filtro de baja frecuencia (como una interpolación bilineal) sirviendo para promediar y suavizar los valores. Otras quizás tienden a resaltar la imagen como un filtro de alta frecuencia. La convolución cubica utilizada en ERDAS IMAGE es un compromiso entre baja frecuencia y alta frecuencia. El efecto general de la convolución cúbica dependerá del dato de partida.

La fórmula utilizada en ERDAS IMAGE es:

$$V_r = \sum_{n=1}^4 V(i-1, j+n-2)xf(d(i-1, j+n-2)+1) \\ + V(i, j+n-2)xf(d(i, j+n-2)) \\ + V(i+1, j+n-2)xf(d(i+1, j+n-2)-1) \\ + V(i+2, j+n-2)xf(d(i+2, j+n-2)-2)$$

donde:

$$i = \text{int}(x_r)$$

$$j = \text{int}(y_r)$$

$d(i,j)$ = la distancia entre un pixel con coordenadas (i,j) y (x_r, y_r)

$V(i,j)$ = el valor de fichero del pixel (i,j)

V_r = valor de fichero de salida

$a = -0.5$ (constante que difiere en otros aplicaciones de convoluciones cúbicas)

$f(x)$ = siguiente función:

$$(a + 2)|x|^3 - (a - 3)|x|^2 + 1 \quad \text{si } |x| < 1$$

$$a|x|^3 - 5a|x|^2 + 8a|x| - 4a \quad \text{si } 1 - |x| < 2$$

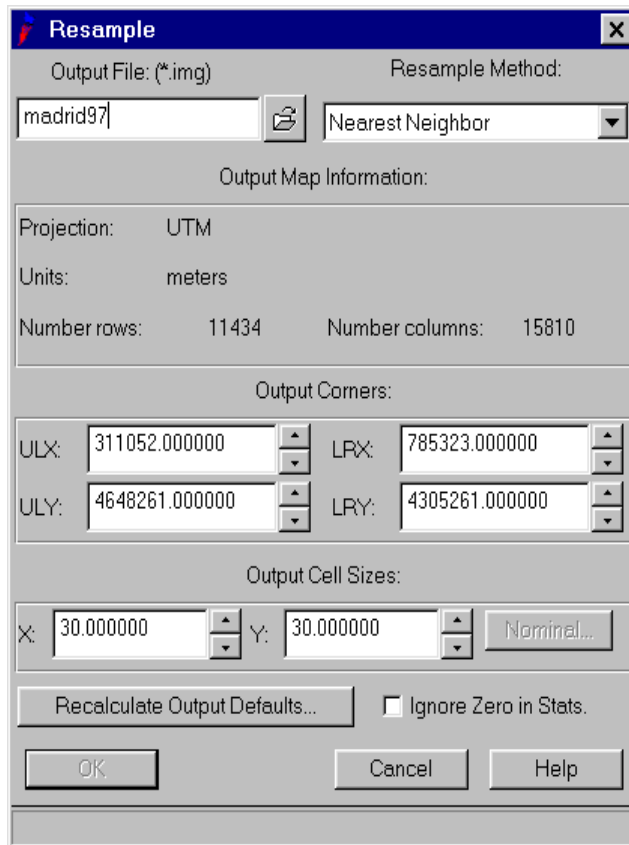
0 en cualquier otro caso

En la mayoría de los casos, un valor $a = -0.5$ tiende a producir capas de salida con una media y una desviación estándar menor que los datos originales.

| CUBIC | CONVOLUTION |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
| Utiliza un remuestreo de 4×4 . En la mayoría de los casos, la media y desviación estándar de los pixels de salida se equiparan a los pixels de entrada más fielmente que por otros métodos de remuestreo. | Los valores de datos pueden resultar alterados. |
| El efecto del incremento de la curva cúbica puede corregir el ruido. | Es el método de remuestreo de mayor y más intenso cálculo y también el más lento. |
| Este método es recomendado cuando es necesario cambiar drásticamente el tamaño de celda de los datos. | |

Para especificar las distintas opciones de un fichero de salida de una imagen rectificadas se selecciona un método de remuestreo y otros parámetros de la nueva imagen georreferenciada, comenzando así a generarse la nueva imagen; se determina entre otras cosas (figura N° 46).

Figura N° 46: Resample



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

Resample method: Selecciona el método de *resampling* que va a utilizarse. Nearest Neighbor, Bilinear interpolation, Cubic Convolution.

Out map information: Muestra algunos de los parámetros del fichero de salida, de acuerdo con la transformación especificada. *Projection:* Especifica la proyección del fichero de salida. *Number Rows, Number Columns:* Número de filas y columnas de pixels que aparecerán en el fichero de salida, determinado por la matriz de transformación.

Output corners: Se pueden cambiar, si es necesario, las coordenadas de la esquina superior izquierda y la esquina inferior derecha. Están expresadas en las coordenadas y unidades especificadas en “*out map information*”. Por defecto son calculadas a partir de los datos del fichero fuente, si se está rectificando de imagen a imagen. ULX, ULY: coordenadas de la esquina superior izquierda; LRX, LRY: coordenadas de la esquina inferior derecha.

Output cell sizes: *x*, *y* especifica el tamaño de celda tanto en el eje de las X como en el de las Y. Por defecto son calculados por la matriz de transformación. Si no hay proyección de salida, entonces este campo no será editable.

El hecho de que uno de los objetivos del trabajo fuera realizar una clasificación, hace que el método más apropiado sea el de interpolación por el vecino más cercano, ya que la imagen resultante contendrá los valores radiométricos originales. Cualquier promedio que se hubiera realizado sobre éstos (como ocurre en los dos métodos alternativos) habría dado lugar a una mejora estética pero habría supuesto el falseamiento de los datos originales.

Como resultado de la aplicación de este proceso de ortocorrección se obtuvieron imágenes corregidas y georreferenciadas, con proyección geográfica UTM, elipsoide de referencia Internacional de Postdam (HAYFORD) y huso 30. La resolución espacial de estas imágenes es de 30m. para las imágenes LANDSAT TM y de 5 metros para las imágenes IRS-1C.

3.3.3. GENERACIÓN DE MOSAICO

El proceso de fotointerpretación implica en primer lugar unir las dos imágenes de IRS 1C de la Comunidad de Madrid (figuras nº 47 y nº 48) es decir realizar un mosaico de dichas imágenes (figura nº 49). Para poder realizar esta operación las dos imágenes deben estar anteriormente georreferenciadas y tener el mismo sistema de coordenadas.

Un problema que existe para realizar esta operación es el tamaño de los ficheros. Cada una de las imágenes tiene 389 Mb y el resultado final del mosaico tiene 777Mb. El proceso se realiza mediante la opción *Mosaic Imagen* de ERDAS IMAGIEN (figura nº 50)

Figura N° 50: Mosaico de imágenes.

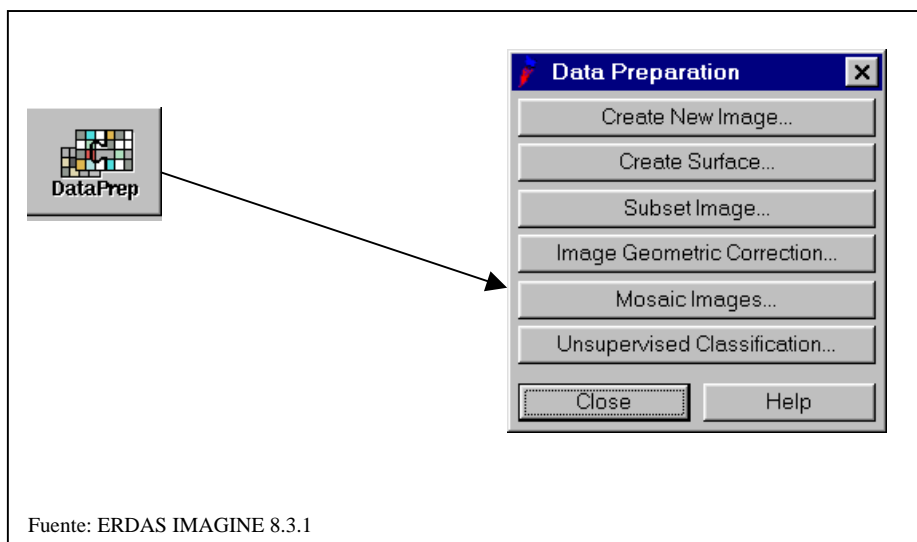
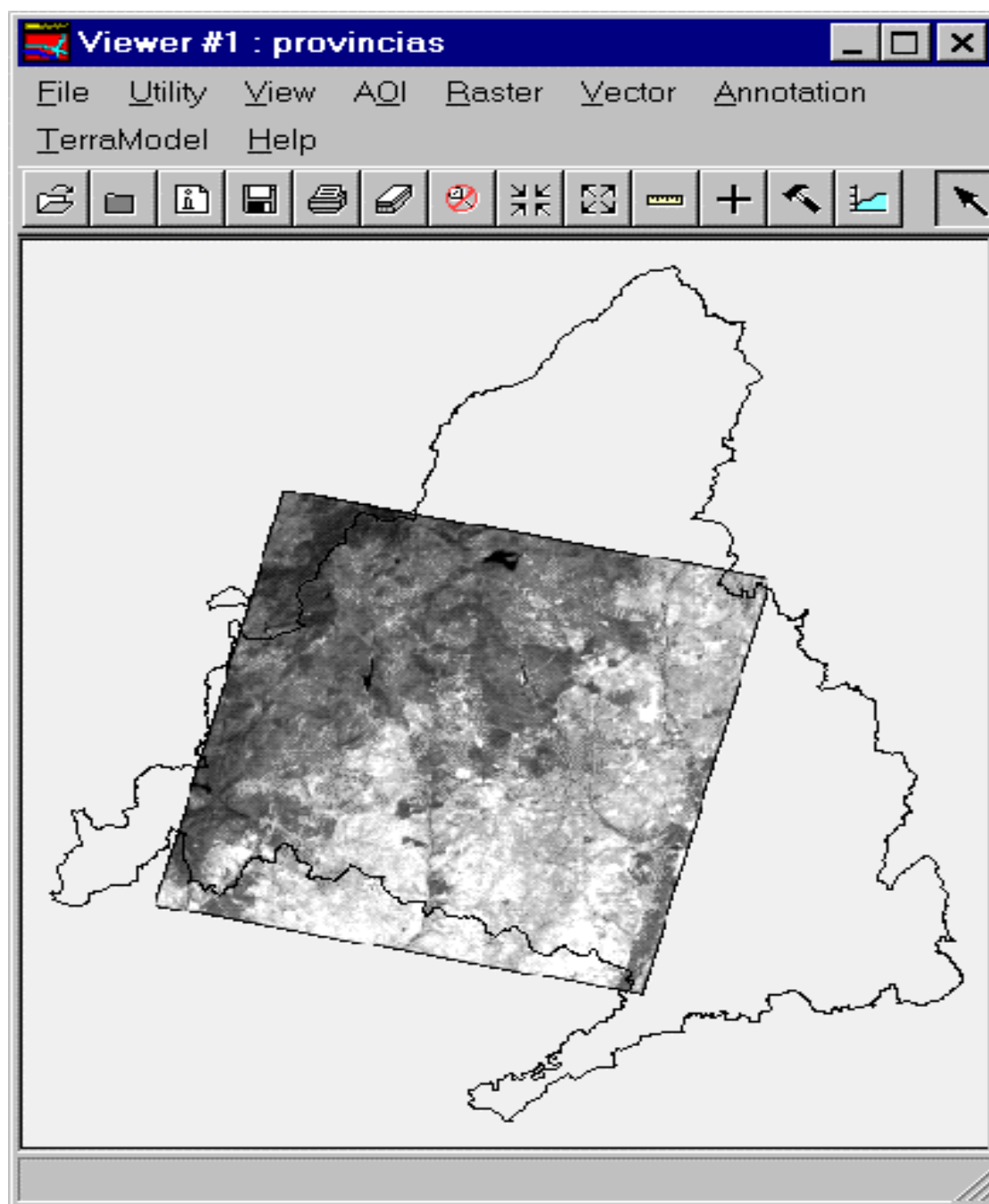
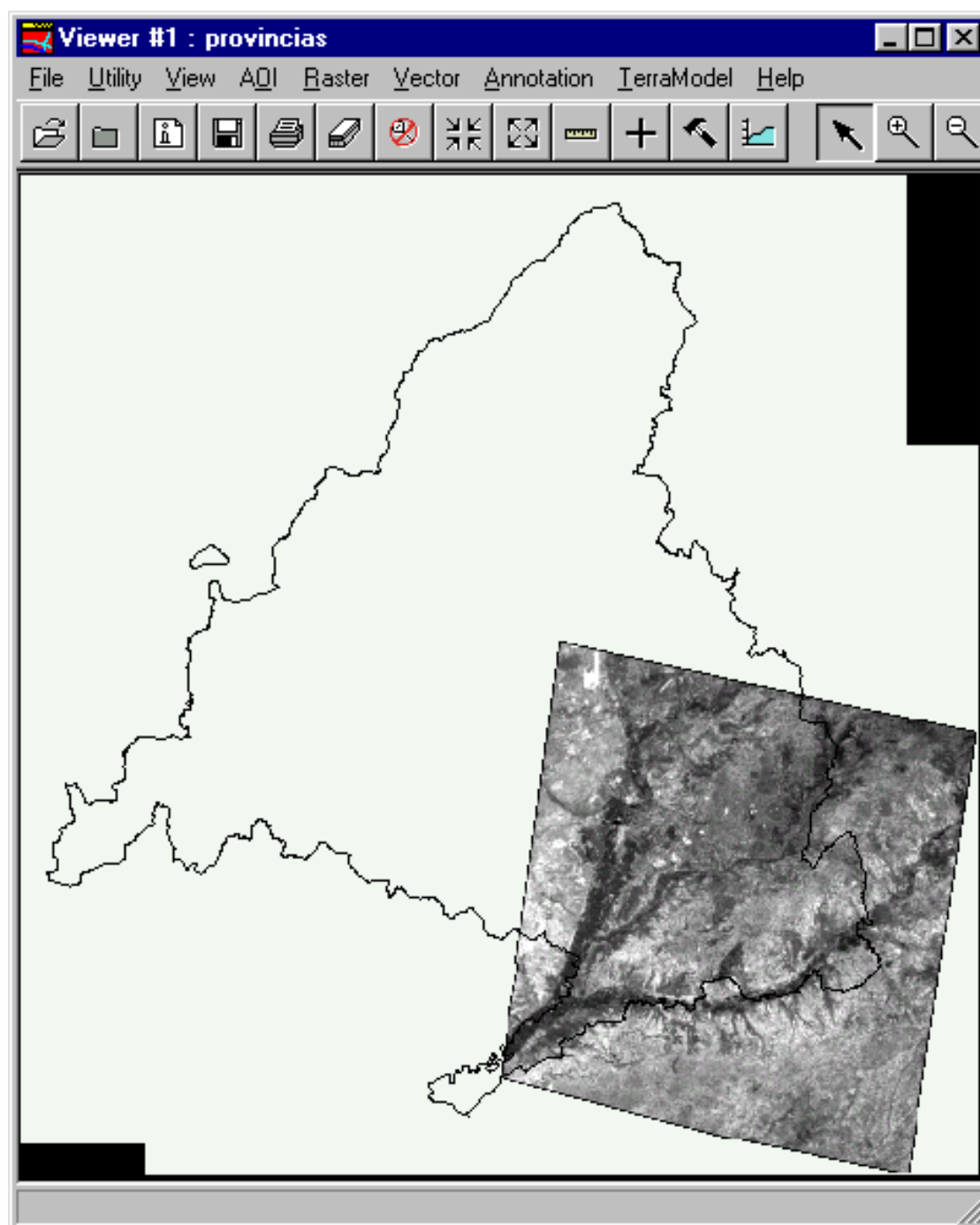


Figura N° 47: Imagen IRS de la Comunidad de Madrid



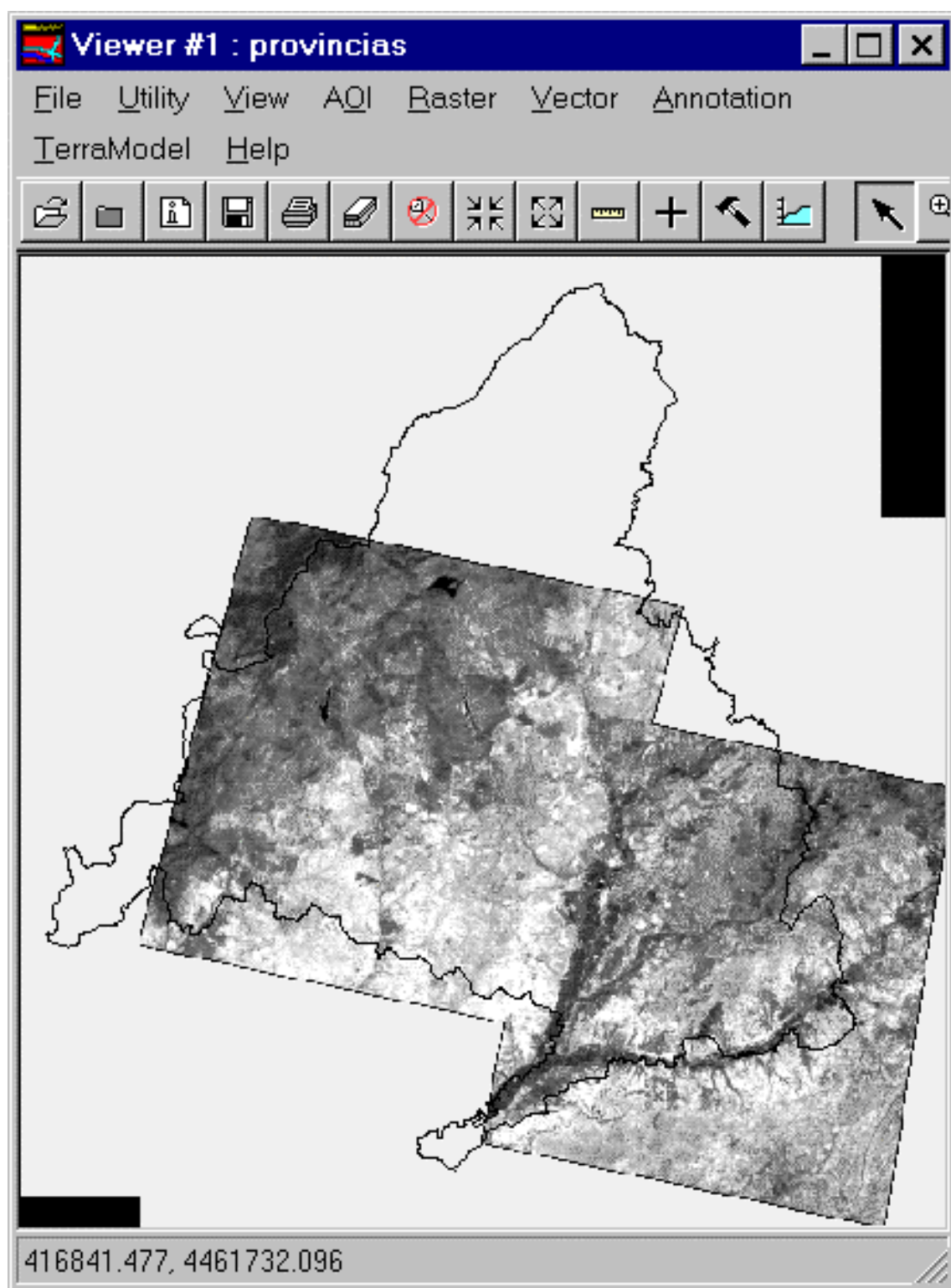
Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

Figura N° 48: Imagen IRS de la Comunidad de Madrid



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

Figura N° 49: Mosaico de imágenes IRS de la Comunidad de Madrid



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

3.3.4. FOTOINTERPRETACIÓN

La clase “Superficies Artificiales” se ha obtenido a partir de los datos procedentes de la fotointerpretación de las imágenes IRS-1C y LANDSAT TM de Agosto de 1997. También se ha utilizado como apoyo la información extraída del *Corine Land Cover*, la capa de Vegetación del Mapa Forestal elaborado por ICONA y los mapas Topográficos.

El mosaico de las imágenes IRS 1C cubre la mayor parte de los espacios urbanos de la Comunidad de Madrid, pero no todos. El área no cubierta por las imágenes IRS 1 C ha sido fotointerpretada sobre la imagen LANDSAT TM de Agosto de 1997.

El proceso de fotointerpretación en su mayor parte se ha realizado sobre las imágenes IRS-1C, digitalizando en pantalla a escala 1:25.000 los usos antrópicos; es decir, se trata de diferenciar todas las clases posibles pertenecientes a la categoría “Superficies Artificiales” incluyendo dentro de este término las siguientes clases correspondientes con la nomenclatura *Corine Land Cover*.

SUPERFICIES ARTIFICIALES

- 1.1.1. Tejido Urbano continuo
 - 1.1.1.01. Estructura Urbana Laxa
 - 1.1.2.02. Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas
- 1.2.1. Zonas Industriales o Comerciales
 - 1.2.2.02 Autopistas, Autovías y terrenos Asociados
 - 1.2.2.02 Complejos Ferroviarios
- 1.2.4. Aeropuertos

- 1.3.1 Zonas de extracción minera
- 1.3.2 Escombreras y Vertederos
- 1.3.3 Zonas en Construcción
- 1.4.1. Zonas Verdes Urbanas
- 1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas.

Las áreas no cubiertas en el mosaico se ha digitalizado a escala 1:100.000 sobre la imagen LANDSAT TM.

El resultado obtenido de la fotointerpretación de las imágenes IRS 1-C y LANDSAT TM se han unido en un único fichero mediante un modelo generado con el MODEL MAKER, cuya función queda definida por la suma de ambos ficheros.

El resultado obtenido en este proceso ha sido un mapa temático (mapa nº 18) sobre “Superficies Artificiales” a integrar con el resultado de la clasificación posterior.

3.3.5. CLASIFICACIÓN

3.3.5.1. Preparación de las imágenes

La clasificación de las imágenes LANDSAT TM de nuestro trabajo requiere la realización de unos pasos previos destinados a facilitar el proceso de clasificación. Estos pasos consisten en primer lugar en recortar las imágenes por el contorno exacto de la Comunidad de Madrid y en segundo lugar extraer de las imágenes los espacios urbanos para que estos no sean clasificados.

1. Recorte de las imágenes.

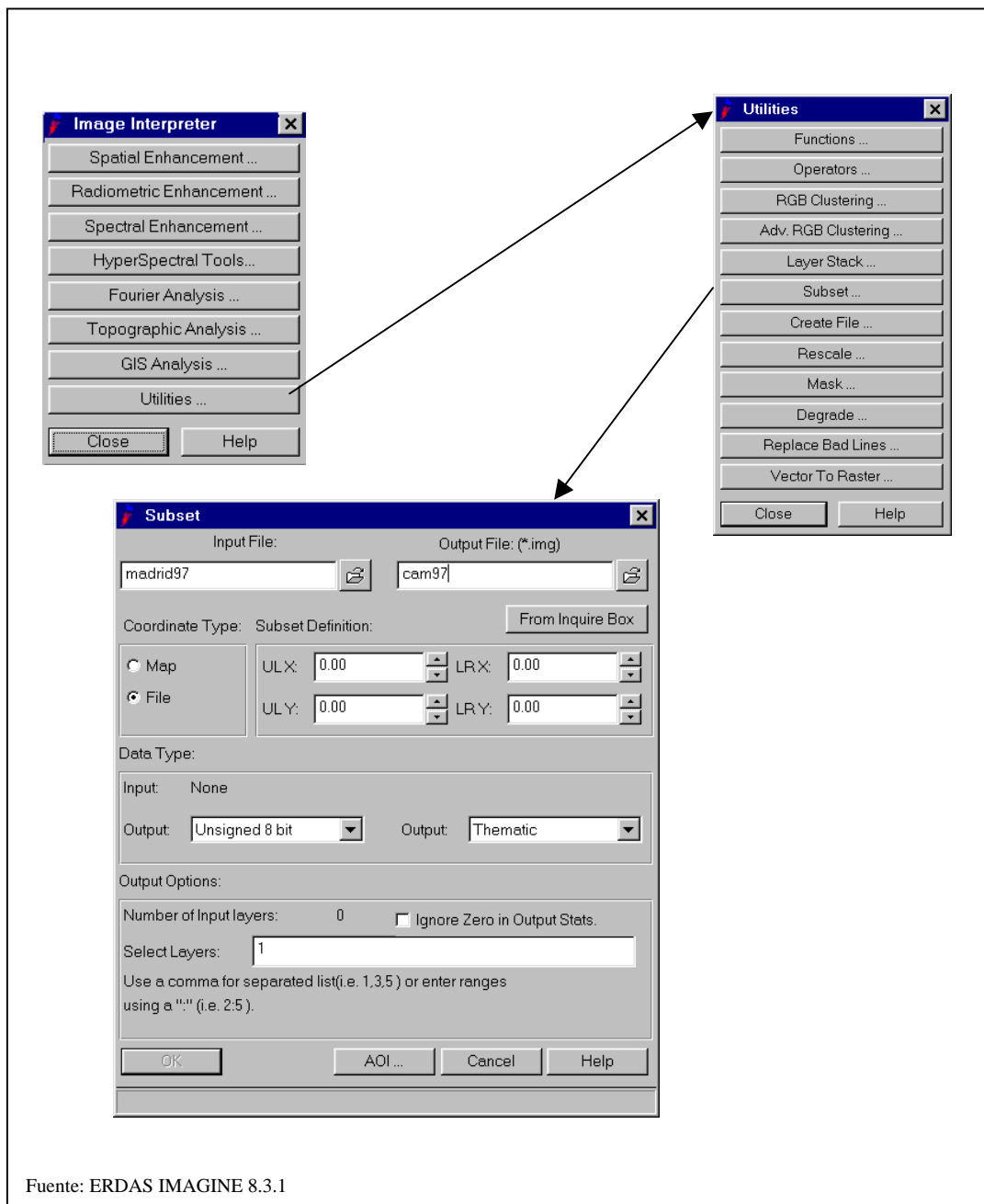
Las imágenes de satélite de LANDSAT TM que engloban la Comunidad de Madrid ocupan una superficie bastante más amplia que la Comunidad de Madrid; por ello, antes de proceder a realizar la clasificación de dichas imágenes, es necesario recortar la imagen completa, es decir, extraer (de toda la imagen) únicamente el área que se corresponde con la Comunidad de Madrid.

El proceso anteriormente señalado se realiza con ERDAS IMAGINE; para ello es necesario el contorno de la Comunidad de Madrid que se extrae de la BCN 200 tal y como se explicó en un apartado anterior.

Este proceso se realiza desde ERDAS IMAGINE con la utilidad *Subset*. Los pasos a seguir se muestran en la figura nº 51.

El resultado para la imagen LANDSAT TM de la Comunidad de Madrid 31-03-1997 aparece reflejado en el mapa nº19 y para la imagen LANDSAT TM de la Comunidad de Madrid 22-08-1997 en el mapa nº 20.

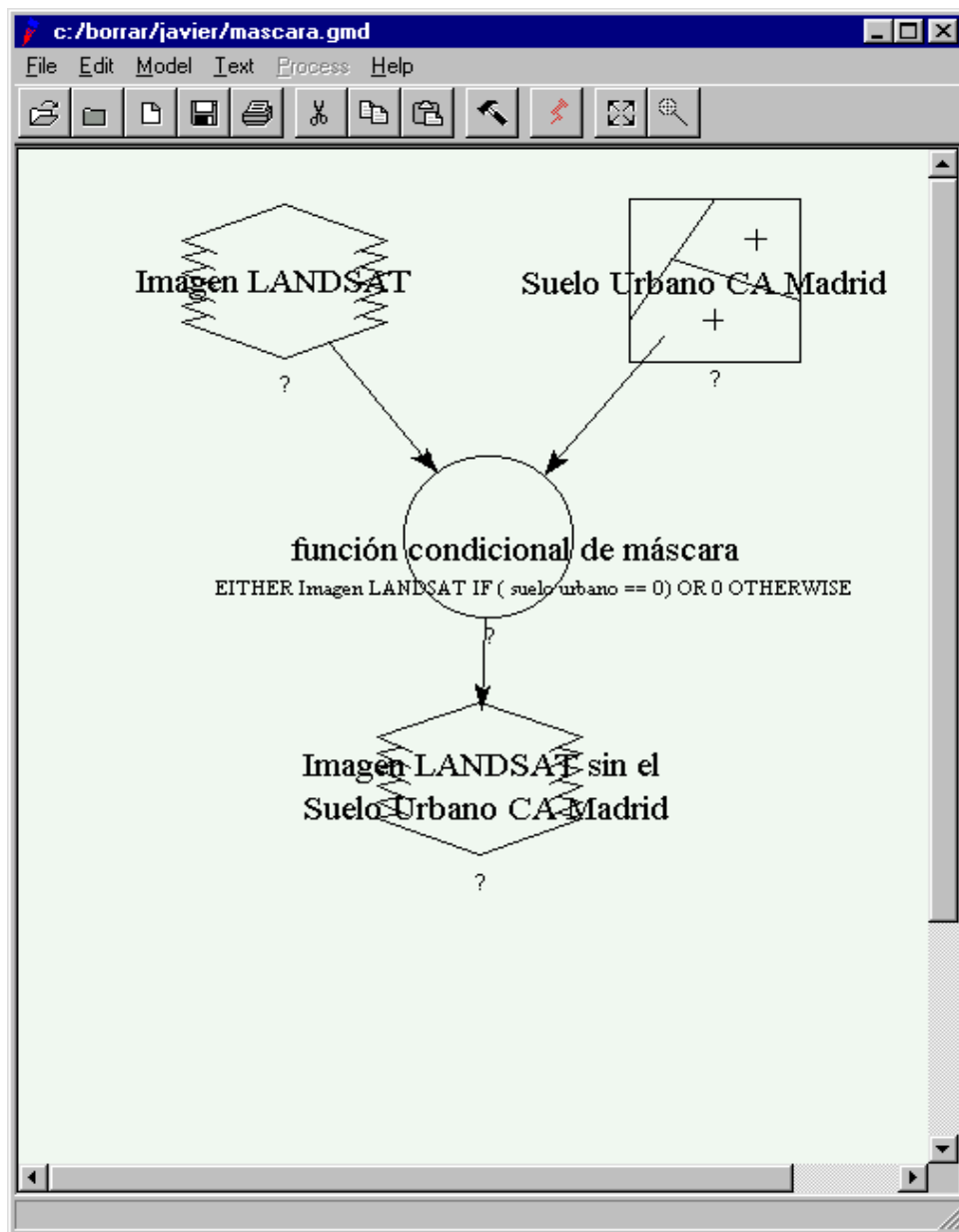
Figura N° 51: Subset de las imágenes LANDSAT TM.



2. Extracción de espacios urbanos.

Este proceso pretende extraer de las imágenes LANDSAT TM todos los espacios urbanos para que éstos no sean clasificados. La generación de este proceso se consigue mediante un modelo realizado con el *MODEL MAKER* (figura nº 52).

Figura Nº 52: Máscara de espacios urbanos.



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

3.3.5.2. Proceso de clasificación

La clasificación es el proceso de agrupar pixels en un número finito de clases individuales o categorías de datos, basándose en los valores de fichero (Niveles Digitales). Cuando un pixel satisface un conjunto de criterios, es asignado a la clase que responde a esos criterios (clase espectral).

Para realizar un proceso de clasificación previamente a través del software debe realizarse un reconocimiento de patrones en los datos de la imagen. Este proceso se denomina muestreo y es el que define los criterios por los que se reconocen los patrones en los datos. El resultado del muestreo es un conjunto de muestras, que son en realidad los criterios de agrupamiento para un conjunto de clases propuestas.

El proceso de agrupamiento de los pixels (clasificación) en categorías diferentes puede realizarse de dos formas: clasificación no supervisada y clasificación supervisada.

La clasificación **no supervisada** o *clustering* es una clasificación automática en la cual el operador señala únicamente unos requerimientos mínimos. Mediante este proceso se realiza una clasificación completa de la imagen dando lugar a un raster temático y recalculando las estadísticas. Esta técnica es iterativa y agrupa pixels en diferentes clases.

La clasificación no supervisada es más independiente del criterio del operador que la clasificación supervisada.

La clasificación **supervisada** se basa en la selección de pixels que representan patrones que el operador reconoce, o puede identificar con la ayuda de otras fuentes. Antes de comenzar a seleccionar las muestras, es necesario conocer los

datos, las clases que se quieren discriminar y el algoritmo de clasificación que será utilizado.

El proceso de clasificación supervisada identifica patrones en las imágenes de manera que se puede guiar al sistema en el agrupamiento de pixels con características similares. Estableciendo prioridades a estas clases se supervisa el agrupamiento de pixels mientras son asignados a una clase determinada. Si la clasificación es precisa, entonces cada clase resultante corresponderá al patrón identificado originalmente.

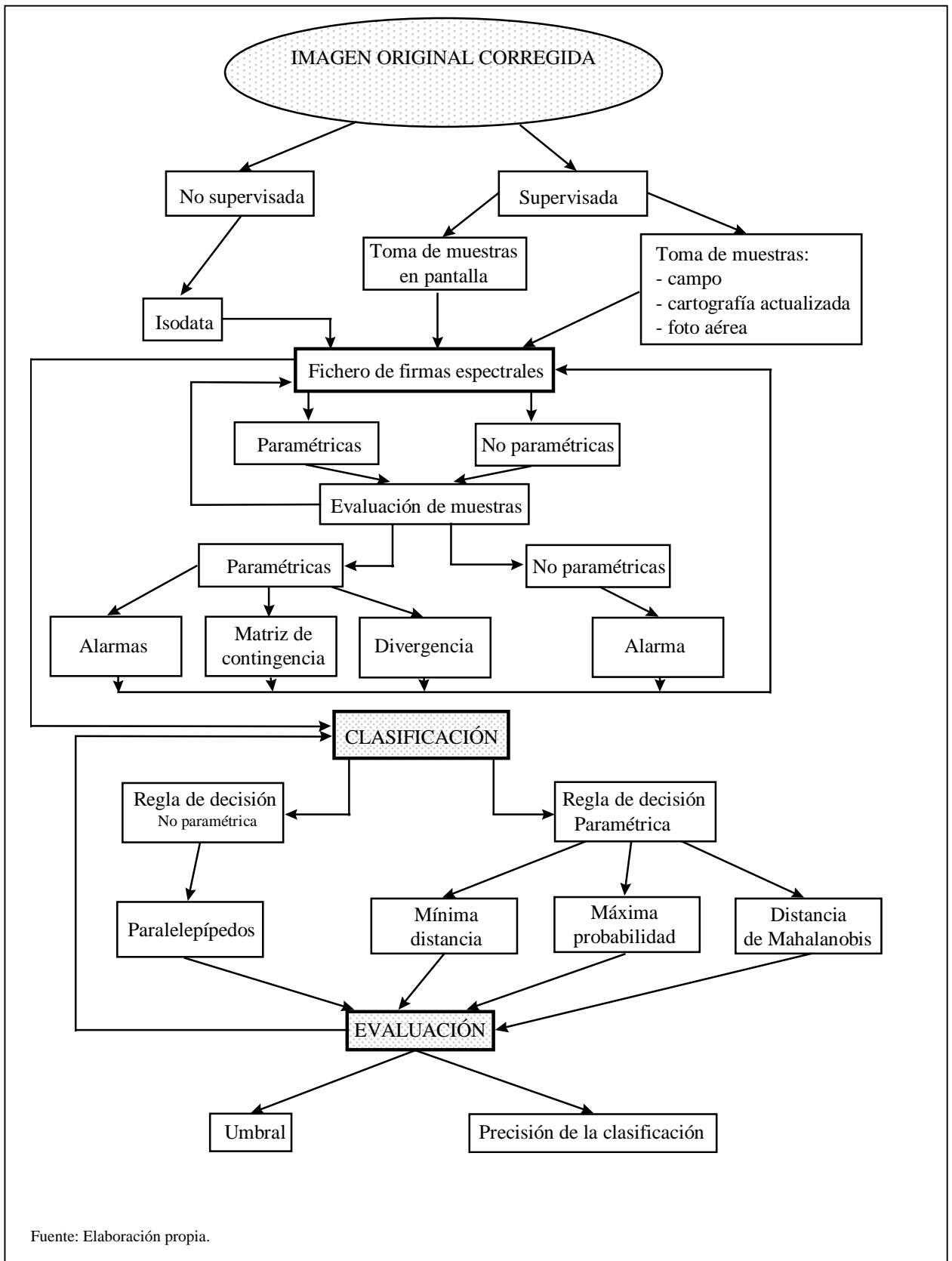
La clasificación supervisada está más estrechamente controlada por el operador que la clasificación no supervisada

Los pasos básicos para ambos tipos de clasificación son muy similares y pueden resumirse en la figura nº 53.

La generación de una cartografía actualizada de usos del suelo depende básicamente de la realización de una buena clasificación de las imágenes de satélite.

Por esta razón, nosotros hemos contado con información adicional, utilizada en primer lugar para la toma de muestras y en segundo lugar para la evaluación, comprobación y mejora de las clasificaciones intermedias (diferentes pruebas) que han permitido obtener un mapa actualizado de usos del suelo.

Figura N° 53: Proceso de clasificación



La información adicional utilizada ha sido:

- Mapa *Corine Land Cover* de la Comunidad de Madrid 46 clases (mapa nº16).
- Imagen LANDSAT de 1987 para comprobar algunas de las clases del mapa *Corine Land Cover* que nos parecían dudosas (mapa nº 3).
- Imágenes LANDSAT TM de Marzo y Agosto de 1997 (mapas nº 19 y nº 20).
- Mapa Forestal de ICONA.
- Modelo Digital del Terreno para diferenciar algunas clases por cotas de altura (mapa nº 15).
- Mosaico de imágenes IRS 1C utilizado para la fotointerpretación de los espacios urbanos y para comprobar determinadas áreas (figura nº 49).
- Otras fuentes como mapas de cultivos, geológicos o los propios criterios de interpretación visual.

El tipo de clasificación realizada ha sido la supervisada; aunque también hemos llevado a cabo una clasificación no supervisada utilizada como tanteo inicial de las clases y como fichero de muestras.

En el desarrollo de este apartado, no vamos a mostrar todos los procesos y resultados intermedios realizados para la obtención del mapa final, sino que vamos a tratar de simplificar explicando las diferentes fases desarrolladas.

El proceso de clasificación de las imágenes LANDSAT TM se ha elaborado con el Módulo *Classifier* del programa ERDAS IMAGINE (figura nº 54)

Figura Nº 54: Módulo Classifier



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

Las fases realizadas en el desarrollo de la clasificación supervisada son:

1. Toma de Muestras.
2. Evaluación de las Muestras.
3. Proceso de Clasificación.
4. Evaluación de la Clasificación.
5. Depuración de la Clasificación.

1. Toma de Muestras.

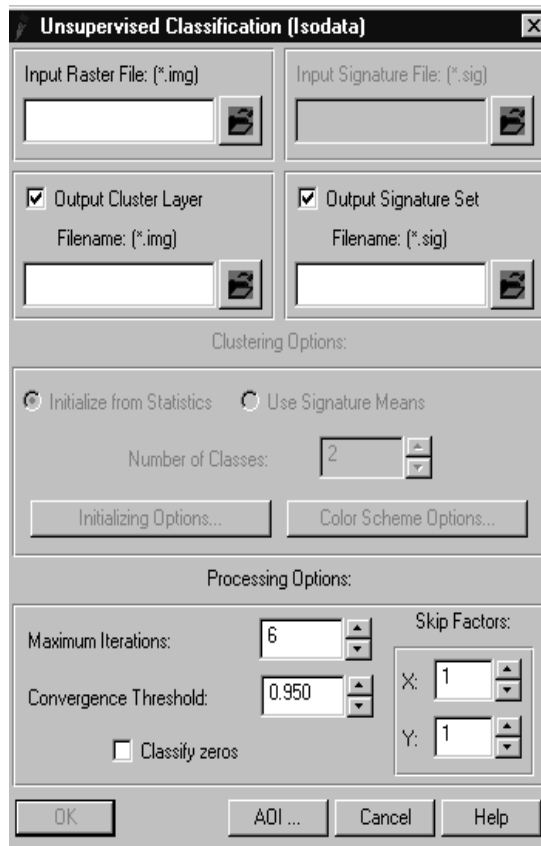
La primera fase de todo proceso de clasificación supervisada (tal y como aparece en la figura nº 53) es la selección o toma de las muestras.

El primer paso realizado para conseguir un fichero de muestras, ha sido efectuar una clasificación no supervisada de las imágenes LANDSAT TM de marzo y de agosto de 1997 con objeto de comprobar si existía alguna clase que pudiera diferenciarse correctamente mediante este proceso.

El algoritmo utilizado en esta clasificación ha sido *ISODATA* es decir, el proceso de agrupamiento de los pixels en diferentes clases se realiza a través de la fórmula de mínima distancia espectral (*ISODATA*)(figura nº 55).

Este algoritmo, comienza con grupos que tienen medias arbitrarias y cada vez que se reagrupan los pixels en cada iteración, las medias de los grupos varían, de manera que para las iteraciones siguientes se van utilizando las nuevas medias.

Figura N° 55: Clasificación no Supervisada.



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

Este proceso repite el agrupamiento de pixels en la imagen hasta que se hayan realizado un número limitado de iteraciones o bien hasta que exista un porcentaje máximo de pixels sin cambiar entre dos iteraciones. Ambos parámetros pueden ser especificados al iniciar el proceso (Erdas Imagine, 1997).

El proceso de clasificación no supervisada aplicado a las imágenes LANDSAT TM de marzo y agosto de 1997 diferenció un total de 30 clases. El fichero de muestras resultante fue utilizado como tanteo de otras clasificaciones supervisadas. Los resultados obtenidos tras realizar estas clasificaciones supervisadas no fueron óptimos y decidimos no utilizar ni el fichero de muestras, ni los resultados de la clasificación no supervisada.

El resultado del proceso de clasificación no supervisada para las imágenes LANDSAT TM de marzo y agosto, aparecen reflejados en los mapas nº 21 y nº22.

Aparte de los ficheros de muestras obtenidos mediante las clasificaciones no supervisadas, se ha generado otro fichero de muestras tomando como base la imagen de Agosto y teniendo en cuenta toda la información adicional anteriormente señalada..

Las clases que se van a diferenciar son:

1. Cultivos de secano en cuenca sedimentaria.
2. Cultivos de secano en la zona de rampa o en las estribaciones de la sierra.
3. Pastos y prados naturales.
4. Suelos desnudos o con poca vegetación en las zonas de cuencas sedimentarias.
5. Suelos desnudos o con poca vegetación en las áreas de montaña.
6. Frondosas.
7. Cultivos de regadío.
8. Matorral.
9. Agua.
10. Coníferas.
11. Mosaico de cultivos y vegetación natural.

La clase urbano (superficies artificiales) ha sido obtenida en su mayor parte a partir de la fotointerpretación de las imágenes IRS 1-C .

La diferencia entre las clases de secano se ha realizado a partir del Modelo Digital del Terreno. Se ha tomado como cota límite entre los 900 y los 920m. considerando que lo que estuviera por debajo de estas cotas se correspondía aproximadamente con cultivos de secano en la zona de las cuencas

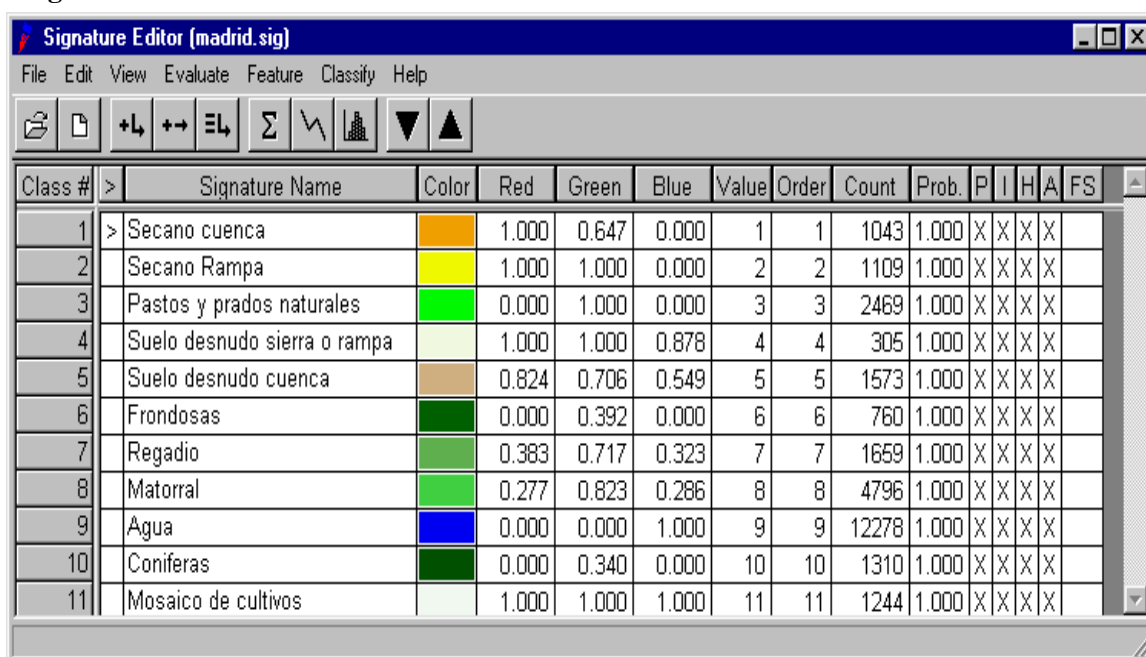
sedimentarias y por encima con cultivos de secano en la zona de rampa o en la sierra.

Por otro lado, dentro de la clase suelos desnudos o con escasa cubierta vegetal, se han diferenciado dos tipos de suelos: uno de montaña que se corresponde con las zonas de nieve que aparecían en la imagen LANDSAT del 31 de marzo de 1997, pistas de esquí, etc., y otro que se corresponde con los existentes, principalmente en las zonas de cuencas sedimentarias y que en la mayoría de las ocasiones se deben a la actividad del hombre, como pueden ser áreas de removilización de material para la construcción de edificaciones, graveras, etc.

La diferenciación de dos clases de secano y dos clases de suelos desnudos que posteriormente se van a agrupar en dos clases, secano y espacios abiertos con poca vegetación se ha realizado para facilitar el proceso de clasificación.

El fichero final de muestras resultante aparece en la figura nº 56

Figura Nº 56: Fichero de muestras.



| Class # | > | Signature Name | Color | Red | Green | Blue | Value | Order | Count | Prob. | P | I | H | A | FS |
|---------|---|------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|----|
| 1 | > | Secano cuenca | Orange | 1.000 | 0.647 | 0.000 | 1 | 1 | 1043 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 2 | | Secano Rampa | Yellow | 1.000 | 1.000 | 0.000 | 2 | 2 | 1109 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 3 | | Pastos y prados naturales | Light Green | 0.000 | 1.000 | 0.000 | 3 | 3 | 2469 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 4 | | Suelo desnudo sierra o rampa | Light Yellow | 1.000 | 1.000 | 0.878 | 4 | 4 | 305 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 5 | | Suelo desnudo cuenca | Light Orange | 0.824 | 0.706 | 0.549 | 5 | 5 | 1573 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 6 | | Frondosas | Dark Green | 0.000 | 0.392 | 0.000 | 6 | 6 | 760 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 7 | | Regadio | Medium Green | 0.383 | 0.717 | 0.323 | 7 | 7 | 1659 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 8 | | Matorral | Light Green | 0.277 | 0.823 | 0.286 | 8 | 8 | 4796 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 9 | | Agua | Blue | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 9 | 9 | 12278 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 10 | | Coníferas | Dark Green | 0.000 | 0.340 | 0.000 | 10 | 10 | 1310 | 1.000 | X | X | X | X | |
| 11 | | Mosaico de cultivos | Light Green | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 11 | 11 | 1244 | 1.000 | X | X | X | X | |

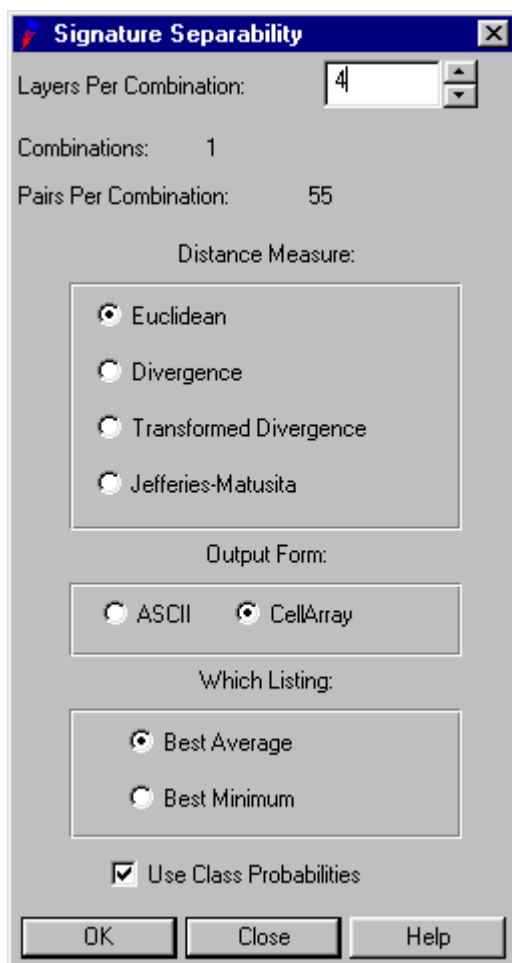
Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

2. Evaluación de las muestras.

Un criterio cuantitativo que permite la posibilidad de discriminar las diferentes clase es la separabilidad estadística (Chuvienco, E., 1990).

Para comprobar si las muestras de las diferentes clases presentaban suficiente separabilidad espectral se utilizó la distancia euclidiana. Se inicia entonces una búsqueda de la mejor combinación de bandas que intervienen en el proceso de clasificación en el sentido que se considera la mejor combinación aquella en que la mejora de la media de la separabilidad entre las diferentes muestras es mayor. Experiencias anteriores guían a 4 como el número de bandas que han de intervenir en el proceso de clasificación (figura nº 57).

Figura Nº 57: Separabilidad de las muestras.



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

La distancia espectral euclidiana se basa en la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i - e_i)^2}$$

dónde

D = Distancia espectral

n = Número de bandas

i = una banda

d_i = Valor de un pixel d en la banda i

e_i = Valor de un pixel e en la banda i

El fichero resultante es el que aparece a continuación y muestra los datos de la matriz y la mejor combinación de bandas con la cual realizar el proceso de clasificación:

Mejor media

| Bandas | AVE | MIN | Class Pairs: |
|---------|-----|-----|------------------------------------|
| | | | 1: 2 1: 3 1: 4 1: 5 1: 6 1: 7 1: 8 |
| | | | 1: 9 1:10 1:11 2: 3 2: 4 2: 5 2: 6 |
| | | | 2: 7 2: 8 2: 9 2:10 2:11 3: 4 3: 5 |
| | | | 3: 6 3: 7 3: 8 3: 9 3:10 3:11 4: 5 |
| | | | 4: 6 4: 7 4: 8 4: 9 4:10 4:11 5: 6 |
| | | | 5: 7 5: 8 5: 9 5:10 5:11 6: 7 6: 8 |
| | | | 6: 9 6:10 6:11 7: 8 7: 9 7:10 7:11 |
| | | | 8: 9 8:10 8:11 9:10 9:11 10:11 |
| 1 3 4 5 | 76 | 12 | 138 94 48 44 102 65 72 |
| | | | 12 37 14 176 114 178 57 |
| | | | 109 67 128 102 128 98 87 |
| | | | 144 119 128 103 102 88 73 |
| | | | 65 23 51 44 29 38 136 |
| | | | 91 112 55 77 52 55 37 |
| | | | 93 65 91 51 60 43 58 |
| | | | 62 36 62 29 15 27 |

Otro criterio cuantitativo que permite evaluar las muestras es la Matriz de Contingencia. Esta práctica clasifica sólo los pixels de muestreo de la imagen, las muestras. Generalmente es de esperar que todos los pixels de una muestra sean clasificados en la clase para la que se han tomado. Sin embargo, los pixels de la muestra sólo tienen peso en las estadísticas de la muestra y raramente son tan homogéneos que cada pixel sea asignado a la clase esperada.

El resultado de la Matriz de Contingencia es una matriz de porcentajes que permite ver cuantos pixels de la muestra son asignados a cada una de las clases. En teoría cada pixel de la muestra debe componerse principalmente de los pixel que pertenecen a cada clase correspondiente.

Es aconsejable que la regla de decisión utilizada en la clasificación final de la imagen determine con anterioridad, para utilizar esta misma decisión en la Matriz de Contingencia.

Los criterios seguidos son el de paralelepípedos y el de máxima probabilidad (figura nº 58)

La regla de decisión de paralelepipedos se basa en establecer unos límites para cada clase teniendo en cuenta sus valores de centralidad y dispersión (Chuvieco, E., 1990). La asignación de los pixels a cada clase se realiza mediante la comparación de los valores de los pixel candidatos con un límite superior y un límite inferior. Estos límites pueden ser:

- El valor mínimo y máximo de cada banda en la muestra.
- La media de cada banda más menos un número de desviaciones típicas.
- Límites definidos por cada uno de los usuarios.

El algoritmo de máxima probabilidad considera que los niveles digitales dentro de cada clase se ajustan a una distribución normal. Esto permite describir una

clase por una función de probabilidad a partir de su vector de medias y matriz de varianza-covarianza. Es decir, la función asemeja la distribución real de los niveles digitales en una clase, por lo que nos sirve para calcular la probabilidad de que un pixel (con un determinado nivel digital) sea miembro de la citada clase (Chuvieco, E. 1990).

El algoritmo de máxima probabilidad asigna un determinado pixel a una clase w_i , si (Erdas, 1997):

$$P(X/w_i) > P(X/w_n)$$

dónde

$P(X/w_i)$ es la probabilidad de que el pixel X pertenezca a la clase w_i

$P(X/w_n)$ es la probabilidad de que el pixel X pertenezca a cualquier otra clase.

En general, la probabilidad de que un pixel Z pertenezca a una clase w_n se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D = \ln(a_c) - [0.5 \ln(|Cov_c|)] - [(X - M_c)^T (Cov_c^{-1}) (X - M_c)]$$

dónde:

D = Peso de la distancia

c = una clase

X = Medida del vector del pixel candidato

M_c = Vector medio de ejemplo de la clase c

a_c = Porcentaje de probabilidad que cada pixel candidato tienen de pertenecer a la clase c

Cov_c = Matriz de covarianza de los pixel en la clase c

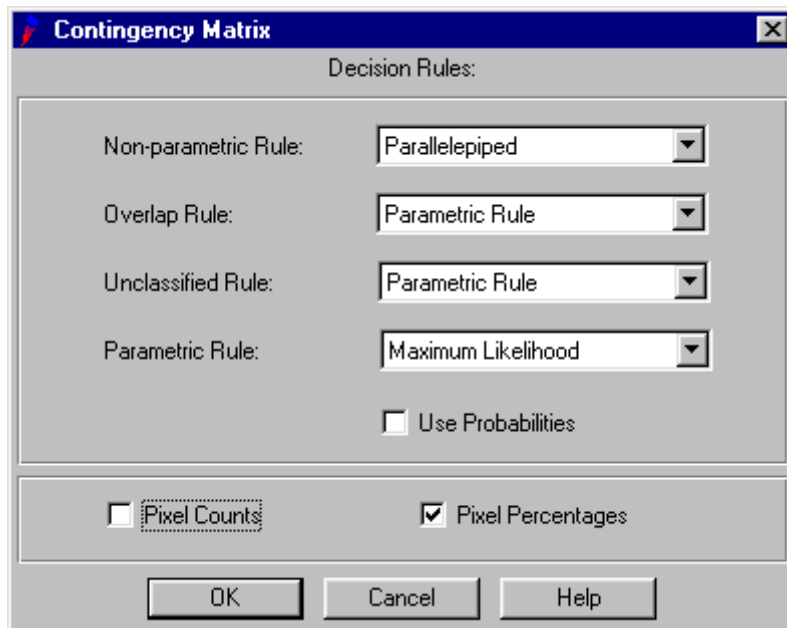
$|Cov_c|$ = Determinante de Cov_c (matriz de álgebra)

$Cov_c - I$ Inversa de Cov_c (matriz de álgebra)

Ln = función logarítmica natural

T : Función de transposición (matriz de álgebra)

Figura N° 58: Matriz de contingencia



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

El resultado de este proceso para nuestras aparece reflejado en los siguientes datos, extraídos directamente de ERDAS IMAGINE.

| Classified Data | Reference Data | | | |
|--------------------|----------------|----------|---------------|---------------|
| | Secano C. | Secano R | Pastos/Prados | Suelo desnudo |
| Secano cue | 1024 | 3 | 0 | 2 |
| Secano Ram | 0 | 1103 | 0 | 0 |
| Pastos y p | 0 | 0 | 2469 | 0 |
| Suelo desn | 17 | 2 | 0 | 292 |
| Suelo desn | 2 | 0 | 0 | 8 |
| Frondosas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Regadio | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Matorral | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Agua | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coniferas | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mosaico de | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Total | 1043 | 1109 | 2469 | 305 |

| Classified Data | Reference Data | | | |
|--------------------|----------------|-----------|---------|----------|
| | Suelo desnudo | Frondosas | Regadio | Matorral |
| Secano cuenca | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Secano Rampa | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Suelo desn | 82 | 0 | 0 | 0 |
| Suelo desn | 1496 | 0 | 0 | 0 |
| Frondosas | 0 | 750 | 7 | 0 |
| Regadío | 0 | 10 | 1652 | 0 |
| Matorral | 0 | 0 | 0 | 4759 |
| Agua | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Coníferas | 0 | 0 | 0 | 37 |
| Mosaico de | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Column Total | 1578 | 760 | 1659 | 4796 |

| Classified Data | Reference Data | | |
|--------------------|----------------|-----------|------------|
| | Agua | Coníferas | Mosaico de |
| Secano cue | 0 | 0 | 79 |
| Secano Ram | 0 | 0 | 23 |
| Pastos y p | 0 | 0 | 0 |
| Suelo desn | 0 | 0 | 20 |
| Suelo desn | 0 | 0 | 18 |
| Frondosas | 0 | 0 | 0 |
| Regadío | 0 | 0 | 0 |
| Matorral | 0 | 10 | 0 |
| Agua | 12278 | 0 | 0 |
| Coníferas | 0 | 1300 | 0 |
| Mosaico de | 0 | 0 | 1104 |
| Column Total | 12278 | 1310 | 1244 |

Porcentajes.

| Classified Data | Reference Data | | | |
|--------------------|----------------|------------|------------|------------|
| | Secano cue | Secano Ram | Pastos y p | Suelo desn |
| Secano cue | 98.18 | 0.27 | 0.00 | 0.66 |
| Secano Ram | 0.00 | 99.46 | 0.00 | 0.00 |
| Pastos y p | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| Suelo desn | 1.63 | 0.18 | 0.00 | 95.74 |
| Suelo desn | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 2.58 |
| frondosas | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Regadío | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Matorral | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.00 |
| Agua | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Coníferas | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Mosaico de | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.98 |
| Column Total | 1043 | 1109 | 2469 | 305 |

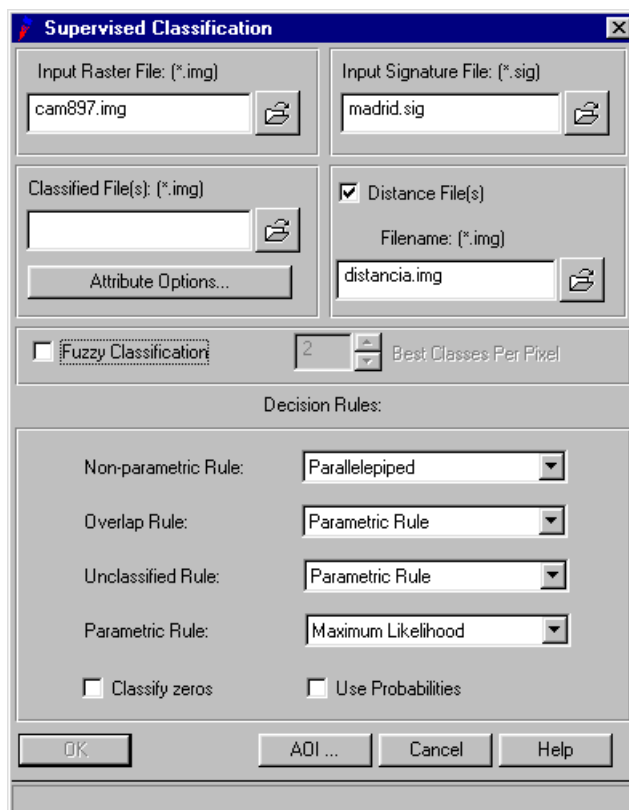
| Classified Data | Reference Data | | | |
|--------------------|----------------|-----------|---------|----------|
| | Suelo desn | Frondosas | Regadío | Matorral |
| Secano cue | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Secano Ram | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pastos y p | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Suelo desn | 5.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Suelo desn | 94.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Frondosas | 0.00 | 98.68 | 0.42 | 0.00 |
| Regadío | 0.00 | 1.32 | 99.58 | 0.00 |
| matorral | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 99.22 |
| Agua | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Coníferas | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.77 |
| Mosaico de | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Column Total | 1578 | 760 | 1659 | 4796 |

| Classified Data | Reference Data | | |
|--------------------|----------------|-----------|------------|
| | Agua | Coníferas | Mosaico de |
| Secano cue | 0.00 | 0.00 | 6.35 |
| Secano Ram | 0.00 | 0.00 | 1.84 |
| Pastos y p | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Suelo desn | 0.00 | 0.00 | 1.60 |
| Suelo desn | 0.00 | 0.00 | 1.44 |
| Frondosas | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Regadío | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| matorral | 0.00 | 0.76 | 0.00 |
| Agua | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| Coníferas | 0.00 | 99.23 | 0.00 |
| Mosaico de | 0.00 | 0.00 | 88.74 |
| Column Total | 12278 | 1310 | 1244 |

3. Proceso de Clasificación

El proceso de clasificación se ha llevado a cabo mediante el algoritmo de paralelepípedos y máxima probabilidad para aquellos pixels que o bien se encuentran dentro de más de un paralelepípedo o bien están fuera del límite de cualquiera de ellos (figura nº 59).

Figura N° 59: Clasificación supervisada



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

4. Evaluación de la Clasificación

Una vez realizada la clasificación se someterá a un chequeo consistente en averiguar cual es la “distancia” entre un pixel y la clase a la que ha sido asignada, en términos de distancia espectral.

Este tipo de chequeo tiene sentido debido a que la naturaleza del algoritmo de clasificación usado hace que un pixel sea obligatoriamente asignado a una clase, ya que siempre existe una “máxima probabilidad” aunque ésta tenga un valor mínimo.

El proceso que sigue a continuación tratará de poner de relieve este tipo de situaciones (valores de probabilidad mínima). Estos pixels pasarán a conformar una nueva clase denominada “sin clasificar”. Con posterioridad, serán asignados a alguna de las clases que les circunda por medio de un filtro estadístico.

El método se denomina “*thresholding*” y consta de los siguientes pasos:

A. Cálculo del fichero de distancia

El fichero se realiza de forma paralela a la clasificación. Su significado en términos relativos es que valores de pixels más altos implican una distancia mayor entre el valor del pixel en la imagen original y la media de la muestra de la clase a la que ha sido asignado dicho pixel.

En términos absolutos y dado el criterio de clasificación esta distancia es la distancia de *Mahalanobis*.

Desde el punto de vista de la visualización, los valores más altos corresponden a los valores más claros es decir, aquellas zonas susceptibles de estar clasificadas de forma errónea son las más claras.

B. Asignación clases.

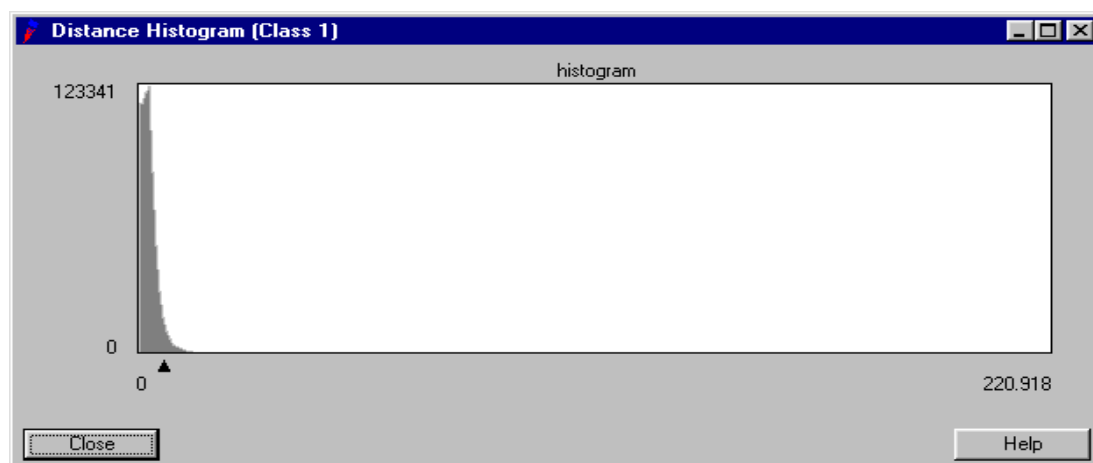
Una vez calculado dicho fichero, se tomará la decisión para cada clase, de cuál es la distancia que se considera la máxima admisible como para ser asignado un determinado valor a una clase.

Para ello, se representa para cada una de las clases el histograma de distancias. Este histograma ha de seguir una distribución χ^2 , en la que las frecuencias mayores se han de acumular alrededor del origen (valor 0). Consecuentemente la mayoría de los pixels han de tener una distancia de valor 0 o muy próximo a 0 (la mayoría se supone están correctamente clasificados).

La representación de un histograma aparece en la figura nº 60. En abcisas se representa la distancia de *Mahalanobis*, en ordenadas la frecuencia en pixels de cada distancia.

Sobre los histogramas de cada clase se ha decidido cuál era el valor de corte (distancia máxima admisible) que en la figura superior queda reflejado por el triángulo negro bajo el eje de abcisas. La decisión puede ser tomada en términos estadísticos, tomando un nivel de significación del 10%. Consultando en las tablas de la χ^2 , corresponde a un valor de distancia de *Mahalanobis* de 11.340.

Figura Nº 60: Histograma de distancias.



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

C.Agrupación de pixels

Mediante un proceso de agrupación de los pixels de “*Clump*” (Explicado en el Capítulo 3) nos hemos cerciorado de que los pixels “no clasificados” no conforman una nueva clase, pues se presentan de forma fragmentaria y dispersos en la imagen, sin formar grupos homogéneos mayores de 3 pixels.

5. Depuración de la Clasificación

El último paso para conseguir un mapa actualizado de usos del suelo es la reasignación de los pixels, que en el proceso anterior han quedado sin clasificar, a las clases a las que probablemente pertenecen (la que les rodea). Para ello, al fichero resultante se le pasa un filtro de mayoría⁷

El filtro de mayoría además de asignar a una clase aquellos pixels que quedaban sin clasificar, permite también eliminar las “islas” o pixels sueltos en las clasificación, produciendo un efecto de homogeneización de las clases.

3.3.6. INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El último proceso que debemos realizar para conseguir un mapa de usos del suelo de la Comunidad de Madrid del año 1997 es integrar la información procedente de la clasificación de la imagen de satélite y el resultado de la fotointerpretación del uso urbano (figura nº 61). Esta integración se consigue generando un modelo con el *MODEL MAKER* de ERDAS IMAGINE (figura nº 62).

⁷ El pixel situado en el centro de la matriz se asigna a la clase más repetida entre los pixels que le rodean (Erda, 1997). Este filtro también hay autores que lo denominan filtro modal (Chuvieco, E., 1990)

El resultado aparece reflejado en el mapa n° 23.

Figura N° 61: Integración de la información 1

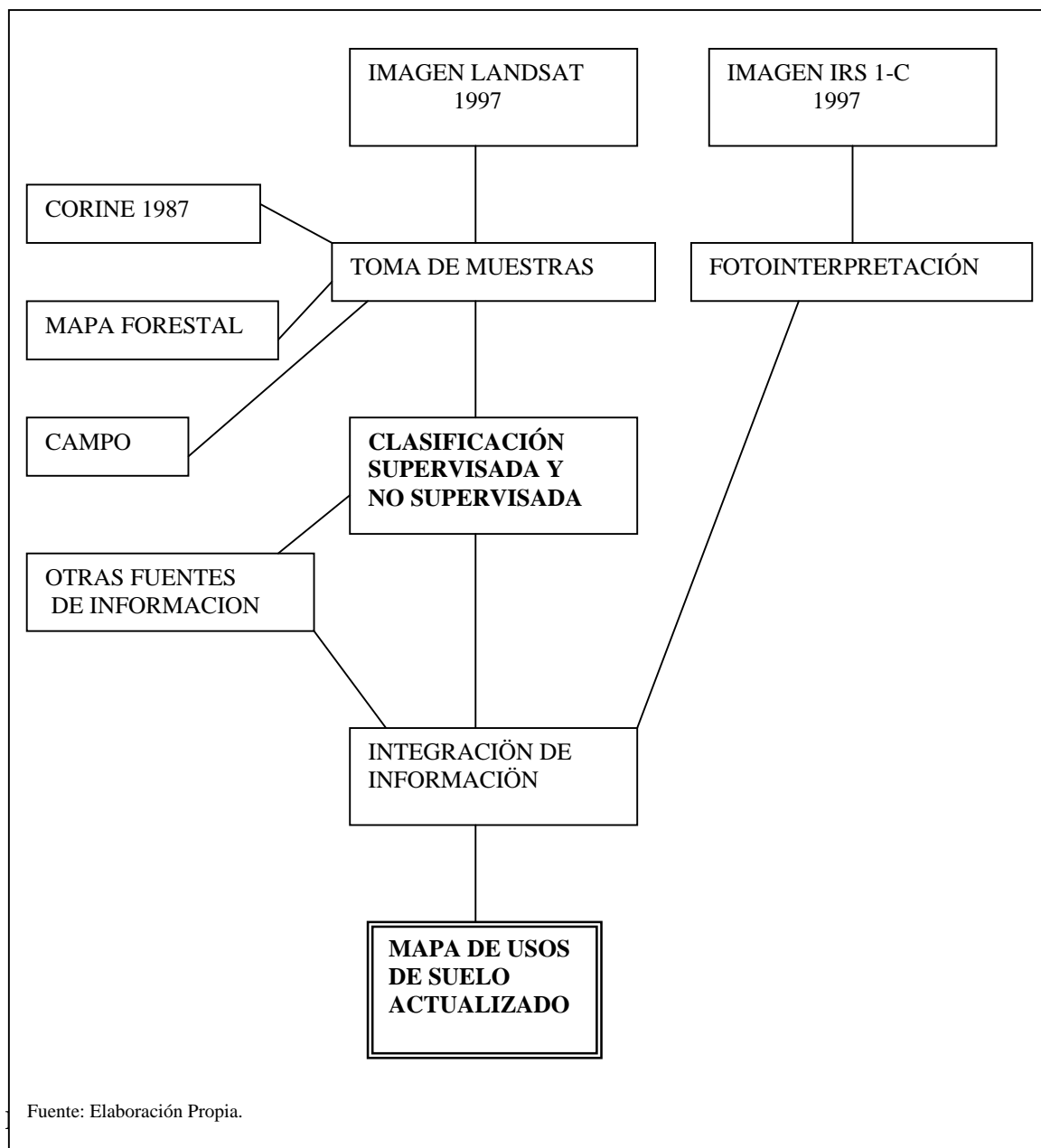
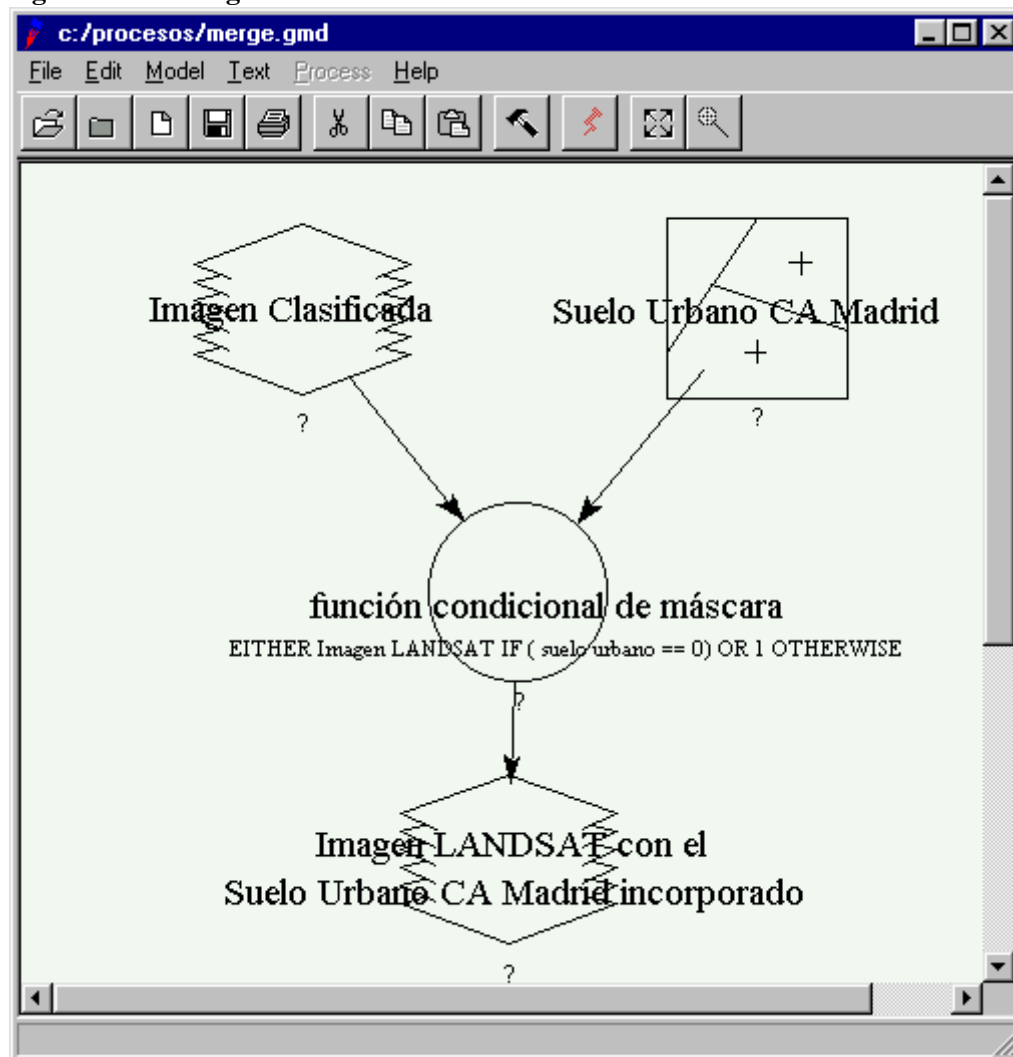


Figura N° 62: Integración de la información 2



Fuente: Erdas Imagine 8.3.1.

PARTE III: GENERACIÓN DEL MODELO

CAPITULO 4. EVOLUCIÓN DE USOS DEL SUELO EN TORNO A LAS CARRETERAS PRINCIPALES

La detección y el análisis de los cambios de usos del suelo producidos en la Comunidad de Madrid y en torno a las carreteras principales¹² se ha realizado cabo a través de las siguientes fases.

1. Análisis global de la evolución de usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre 1987 y 1997. Para llevar a cabo este análisis lo primero que debe efectuarse es una homogeneización de usos del suelo entre los establecidos para 1987 (procedentes de la unificación de las clases establecidas en el mapa *Corine Land Cover* para la Comunidad de Madrid) y el mapa de usos del suelo de 1997 procedente de la clasificación y fotointerpretación de imágenes de satélite. Este proceso se consigue mediante una recodificación o reclasificación de clases.
2. Detección de cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre 1987 y 1997. Este proceso se realiza a través de un análisis matricial.
3. Establecimiento del área de influencia de las carreteras. Este proceso se realiza mediante la generación de un mapa de distancias en torno a las carreteras principales, es decir, a través de un *buffer* (corredor de distancias) en torno a las carreteras.
4. Detección de cambios de usos del suelo en torno a las principales carreteras de la Comunidad de Madrid entre 1987-1997.
5. Análisis de cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid y en torno a las carreteras 1987-1997.
6. Análisis de cambios individualizados por carretera.

¹² El concepto de carreteras principales se aplica a las carreteras radiales objeto de estudio de este trabajo.

4.1. ANÁLISIS GLOBAL DE LA EVOLUCIÓN DE USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE MADRID 1987-1997

El análisis de los cambios globales de usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre 1987 y 1997 se realiza mediante un estudio comparativo entre la clasificación de usos de 1987 y la establecida para 1997.

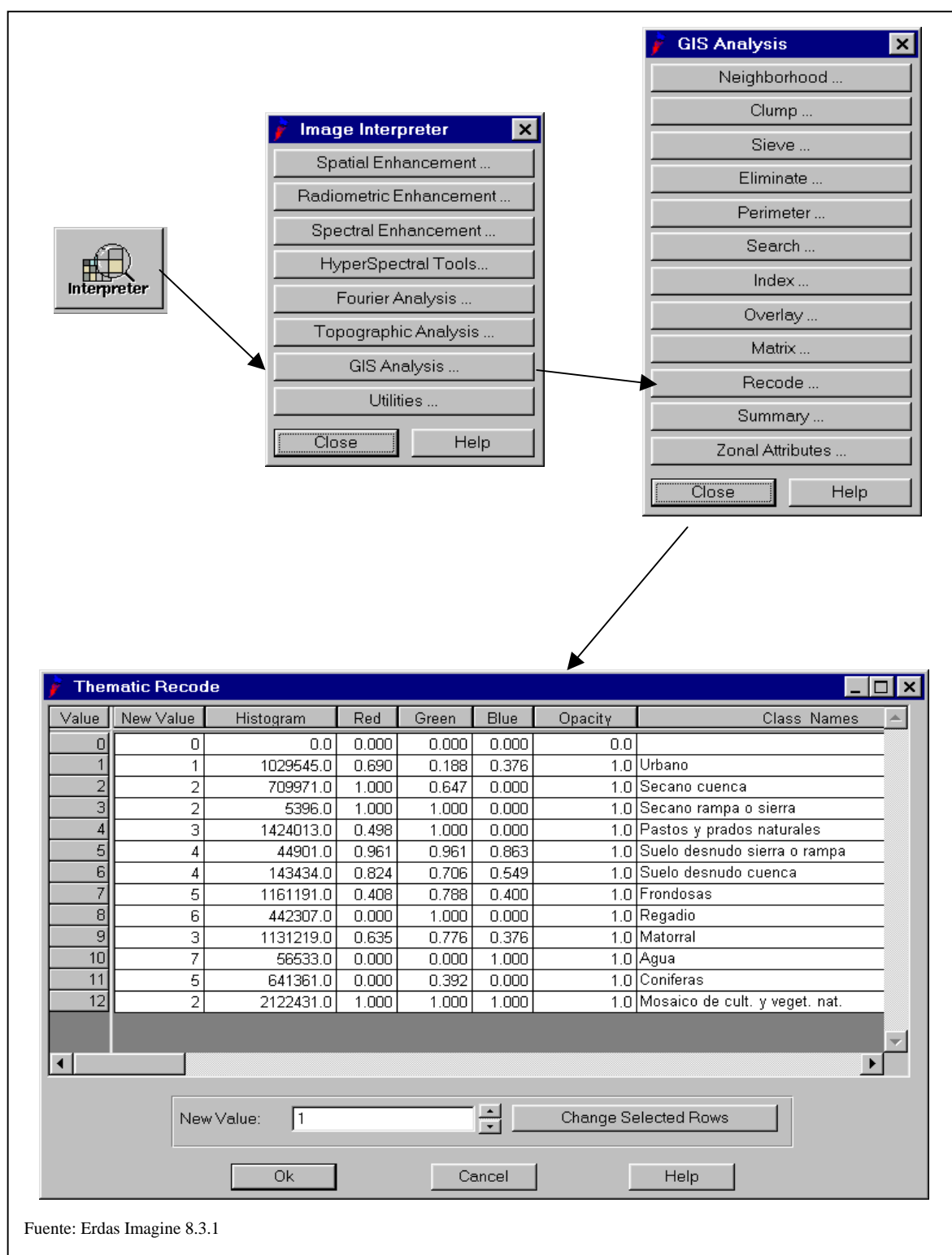
La realización de este análisis implica agrupar las clases obtenidas en 1997 (usos del suelo de 1997) con el mismo criterio y el mismo número de clases que las obtenidas para 1987, una vez reclasificado el *Corine Land Cover*; es decir, recodificar o reclasificar a 7 clases la clasificación de usos del suelo de 1997.

El resultado de la clasificación tiene las siguientes clases (mapa nº 23):

1. Urbano
2. Secano cuenca
3. Secano de rampa o sierra
4. Pastos y prados naturales
5. Suelo desnudo de sierra
6. Suelo desnudo de cuenca
7. Frondosas
8. Regadío
9. Matorral
10. Agua
11. Coníferas
12. Mosaico de cultivos y vegetación natural

El proceso de recodificación realizado a través de ERDAS IMAGINE y la nueva asignación de clases aparecen reflejados en la figura nº 63.

Figura N° 63: Recodificación usos del suelo 1997



En este proceso de recodificación se ha pasado de doce a siete clases. La agrupación de las clases se ha elaborado según el criterio establecido en la tabla nº 16.

Tabla Nº 16: Agrupación de clases

| CLASE ORIGINAL | | CLASE NUEVA | |
|----------------|------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| Nº | NOMBRE | Nº | NOMBRE |
| 1 | Urbano | 1 | Urbano |
| 2 | Secano cuenca | 2 | Secano |
| 3 | Secano de rampa o sierra | 2 | Secano |
| 4 | Pastos y prados naturales | 3 | Vegetación Natural |
| 5 | Suelo desnudo de sierra | 4 | Espacios abiertos con poca vegetación |
| 6 | Suelo desnudo de cuenca | 4 | Espacios abiertos con poca vegetación |
| 7 | Frondosas | 5 | Forestal |
| 8 | Regadío | 6 | Regadío |
| 9 | Matorral | 3 | Vegetación Natural |
| 10 | Agua | 7 | Agua |
| 11 | Coníferas | 5 | Forestal |
| 12 | Mosaico de cultivos y vegetación natural | 2 | Secano |

Fuente: Elaboración Propia

Este proceso da como resultado una nueva imagen a la cual hay que añadir los nombres de las diferentes clases y la paleta de color que creamos más conveniente. Ambos serán los mismos que los utilizados en el mapa de usos del suelo de 1987. El resultado aparece reflejado en el mapa nº 24.

El análisis cuantitativo de los cambios globales de usos del suelo en la Comunidad de Madrid entre 1987 y 1997 aparece reflejado en la tabla nº 17 y en el gráfico nº1.

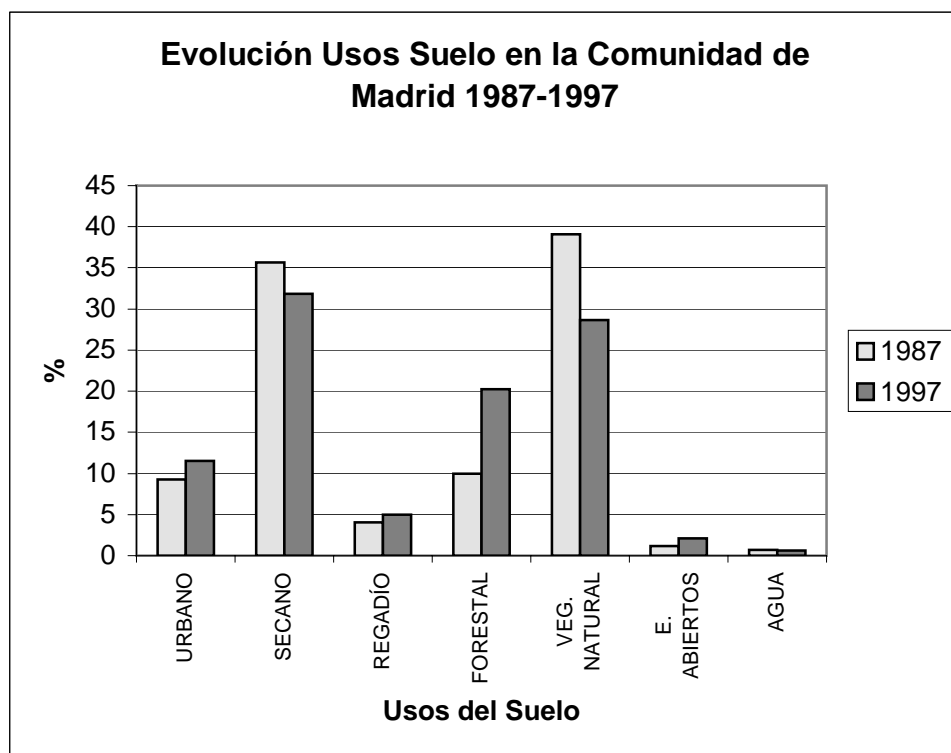
La tabla nº 17 se ha generado mediante la resta entre ambas fechas del área medida en porcentajes.

Tabla N°17: Evolución usos del suelo en la Comunidad de Madrid 1987-97

| Nº Clase | Nombre Clase | Nº pixels 1987 | Área % 1987 | Nº pixels 1997 | Area % 1997 | % Variación 1987-97 |
|----------|---------------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|------------------------|
| 1 | Superficies Artificiales | 18788 | 9,30 | 1029545 | 11,55 | 2,25 |
| 2 | Zonas Agrícolas de Secano | 72107 | 35,69 | 2837798 | 31,84 | -3,85 |
| 3 | Zonas Agrícolas de Regadío | 8246 | 4,08 | 442307 | 4,96 | 0,88 |
| 4 | Forestal | 20127 | 9,96 | 1802552 | 20,23 | 10,26 |
| 5 | Vegetación Natural | 78906 | 39,06 | 2555232 | 28,67 | -10,39 |
| 6 | Espacios Abiertos con poca Vegetación | 2376 | 1,18 | 188335 | 2,11 | 0,94 |
| 7 | Zonas Húmedas y Superficies de Agua | 1480 | 0,73 | 56533 | 0,63 | -0,10 |
| | TOTAL | 202030 | 100,00 | 8912302 | 100,00 | 0,00 |

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°1: Evolución usos del suelo en la Comunidad de Madrid 1987-97



Fuente: Elaboración Propia

El análisis de estos datos refleja que las superficies artificiales han experimentado un aumento del 2,25% en toda la Comunidad de Madrid. En un principio podría pensarse que este aumento pudiera estar ocasionado por el descenso del secano que pierde un 3,85% de su superficie; pero es únicamente una suposición que intentaremos comprobar posteriormente.

La vegetación natural sufre un descenso del 10,39% contrariamente a lo que ocurre con los espacios forestales que aumentan en un 10,26 %. Inicialmente suponemos que la pérdida de vegetación natural se compensa con el aumento de los espacios forestales; la causa puede no deberse específicamente a un cambio de uso sino a cualquier otra que intentaremos determinar en los apartados siguientes.

El resto de los usos aumentan o disminuyen en un porcentaje muy poco significativo para el total de la Comunidad de Madrid: regadío +0,88, espacios abiertos +0,94 y las zonas húmedas -0,10.

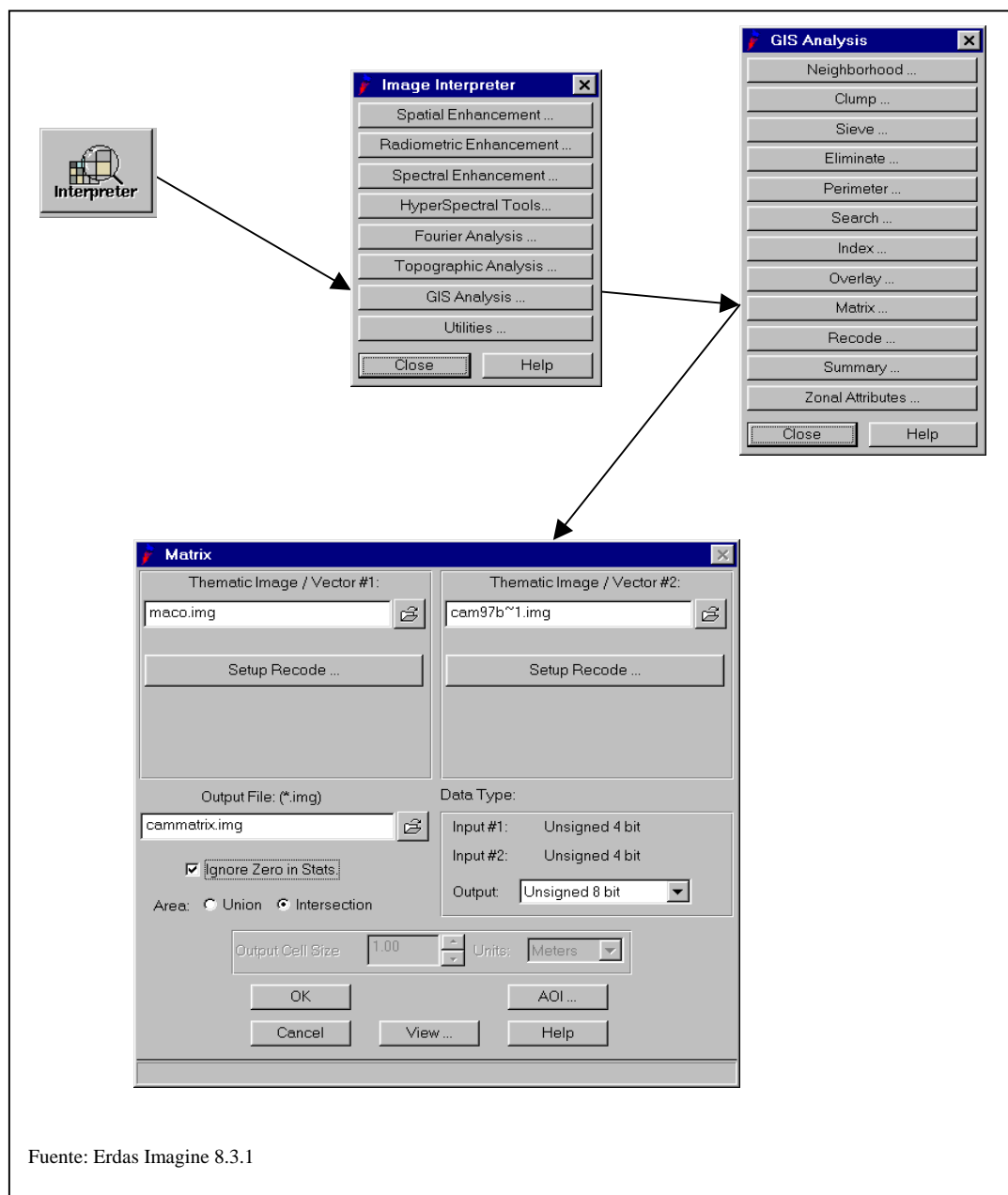
4.2. DETECCIÓN DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE MADRID 1987-1997

La detección de los cambios de usos del suelo producidos entre los años 1987 y 1997 se realiza mediante la elaboración de un análisis matricial.

El análisis matricial consiste en la combinación de dos capas temáticas (usos del suelo de 1987 y 1997) obteniendo como resultado una nueva imagen o capa que contiene clases separadas para cada clase coincidente con las dos capas de entrada.

El proceso de análisis matricial se realiza través de ERDAS IMAGINE y aparece reflejado en la figura nº 64.

Figura N° 64: Análisis Matricial



El resultado de este proceso es un fichero que tiene un total de 49 clases. Se ha pasado de un total de 7 clases a un único fichero que tiene 49 clases. La tabla nº18 refleja la nueva asignación de clases.

Tabla N° 18: Análisis Matricial

| | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| USOS 97 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| USOS 87 | | | | | | | |
| URBANO 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| SECANO 2 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| VEGETACIÓN NATURAL 3 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| ESPACIOS ABIERTOS 4 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| FORESTAL 5 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| REGADÍO 6 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 |
| AGUA 7 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 |

Fuente: Elaboración Propia

Las 49 clases representan los diferentes cambios de usos del suelo que se producen la Comunidad de Madrid, así como los usos que han permanecido estables. Entre las nuevas clases aparecen algunas erróneas, imposible de producir que son consecuencia del proceso de clasificación automática de las imágenes de satélite. Obviamente estas clases “erróneas” tienen una superficie muy pequeña; un ejemplo, es la clase 43 que representa el agua que se transforma a uso urbano.

Las nuevas clases que se obtienen tras la realización del análisis matricial y después de incluir el nombre de cada clase manualmente son las siguientes: (El número de clase se corresponde con la tabla n° 18)

1. Urbano que se mantiene
2. Urbano que pasa a Secano
3. Urbano que pasa a Vegetación Natural
4. Urbano que pasa a Espacios Abiertos con poca vegetación
5. Urbano que pasa a Forestal
6. Urbano que pasa a Regadío
7. Urbano que pasa a Agua
8. Secano que pasa a Urbano
9. Secano que se mantiene.
10. Secano que pasa a Vegetación Natural
11. Secano que pasa a Espacios Abiertos con poca vegetación
12. Secano que pasa a Forestal
13. Secano que pasa a Regadío
14. Secano que pasa a Agua

15. Regadío que pasa a Urbano
16. Regadío que pasa a Secano
17. Regadío que pasa a Vegetación Natural
18. Regadío que pasa a Espacios Abiertos con poca vegetación
19. Regadío que pasa a Forestal
20. Regadío que se mantiene
21. Regadío que pasa a Agua
22. Forestal que pasa a Urbano
23. Forestal que pasa a Secano
24. Forestal que pasa a Vegetación Natural
25. Forestal que pasa a Espacios Abiertos con poca vegetación
26. Forestal que se mantiene
27. Forestal que pasa a Regadío
28. Forestal que pasa a Agua
29. Vegetación Natural que pasa a Urbano
30. Vegetación Natural que pasa a Secano
31. Vegetación Natural que se mantiene
32. Vegetación Natural que pasa a Espacios Abiertos con poca vegetación
33. Vegetación Natural que pasa a Forestal
34. Vegetación Natural que pasa a Regadío
35. Vegetación Natural que pasa a Agua
36. Espacios Abiertos con poca Vegetación que pasa a Urbano
37. Espacios Abiertos con poca Vegetación que pasa a Secano
38. Espacios Abiertos con poca Vegetación que pasa a Vegetación Natural
39. Espacios Abiertos con poca vegetación que se mantiene
40. Espacios Abiertos con poca Vegetación que pasa a Forestal
41. Espacios Abiertos con poca Vegetación que pasa a Regadío
42. Espacios Abiertos con poca Vegetación que pasa a Agua
43. Agua que pasa a Urbano
44. Agua que pasa a Secano
45. Agua que pasa a Vegetación Natural
46. Agua que pasa a Espacios Abiertos con poca vegetación
47. Agua que pasa a Forestal
48. Agua que pasa a Regadío
49. Agua que se mantiene.

El mapa nº 25 refleja el resultado final de todo este proceso. Aparecen tanto los usos que cambian como los que permanecen estables.

4.3. ESTABLECIMIENTO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS PRINCIPALES CARRETERAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

Uno de los objetivos de este estudio es la detección y la evaluación de los cambios de usos del suelo producidos en torno a las principales carreteras de la Comunidad de Madrid.

La valoración de estos cambios lleva implícito determinar la distancia en torno a las carreteras en la cual se pueden producir los cambios; es decir, establecer la distancia del área de influencia de los cambios. Nosotros hemos establecido esta distancia en 1 Km. a ambos lados de las carreteras. Somos conscientes de que los cambios a ambos lados de las carreteras no tienen por qué producirse de la misma forma; es decir, pueden producirse cambios exclusivamente a un lado de la carretera (al menos en algunos tramos) y no en los dos; pero nosotros queremos evaluar los cambios globales sin entrar a detallar si se producen únicamente en un lado de la carretera.

La determinación del área de influencia en 1 Km. y no cualquier otra cifra ha sido porque pensamos que toda alteración que se produzca en torno a las carreteras en 1 Km. de distancia, es prácticamente seguro que esté ocasionada por la influencia de la carretera. Una distancia mayor a 1 Km. no nos asegura que los cambios producidos estén ocasionados por las carreteras. Por el contrario, el problema estaba con distancias inferiores a 1 Km.; en este caso no estábamos seguros de que en una distancia menor también pudieran observarse cambios importantes. Por esta razón antes de determinar la distancia de 1 Km., realizamos una prueba con 500m pero los resultados no fueron significativos.

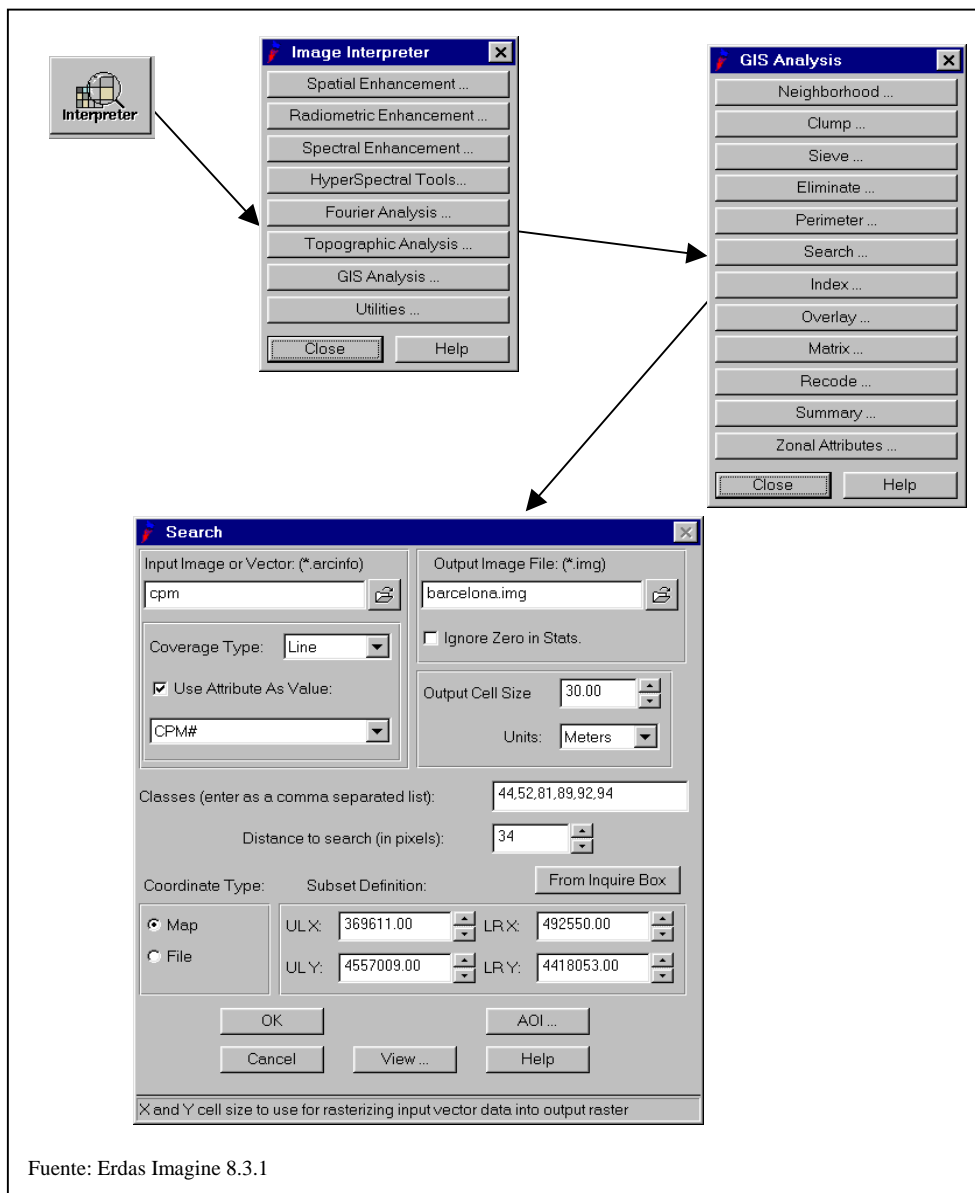
La aplicación del área de influencia o distancia a las carreteras principales de la Comunidad Madrid es un proceso de análisis de proximidad, que se realiza mediante la generación de un *buffer* o corredor de distancias a las carreteras anteriormente seleccionadas. El análisis de proximidad determina qué píxeles de una capa están situados a una distancia específica, desde píxeles que contienen ciertas clases (Erdas, 1997).

El proceso seguido con ERDAS IMAGINE para generar estos *buffers* o corredores de distancias aparece reflejado en la figura nº 65. Este proceso se aplica al fichero de carreteras principales de la Comunidad de Madrid (figura Nº 26) obtenido como resultado del procesamiento de la BCN200.

La figura nº 65 explica los parámetros que son necesarios determinar para poder realizar correctamente el *buffer*; únicamente expresamos los parámetros más importantes:

- Tipo de cobertura: Líneas. El fichero de carreteras está compuesto por líneas.
- El atributo que utilizamos como identificador: CPM#. Es necesario utilizar un atributo de la base de datos del fichero de carreteras que identifique los diferentes tramos que componen cada una de las carreteras.
- Todos los números del atributo que componen los diferentes tramos de cada una de las carreteras. En la figura Nº 65 aparece reflejado el caso concreto de la carretera de Barcelona. Los números correspondientes a esta carretera son: 44-52-81-89-92-94.
- Tamaño de pixel del fichero de salida y unidades de medida: 30m en nuestro caso.
- Distancia del buffer en píxeles. En nuestro caso esta distancia es de 34 píxeles ($34 \text{ píxeles} * 30\text{m.} = 1020\text{m.} = 1\text{Km.}$).

Figura N° 65: Generación de Buffers en las carreteras principales de la Comunidad de Madrid.



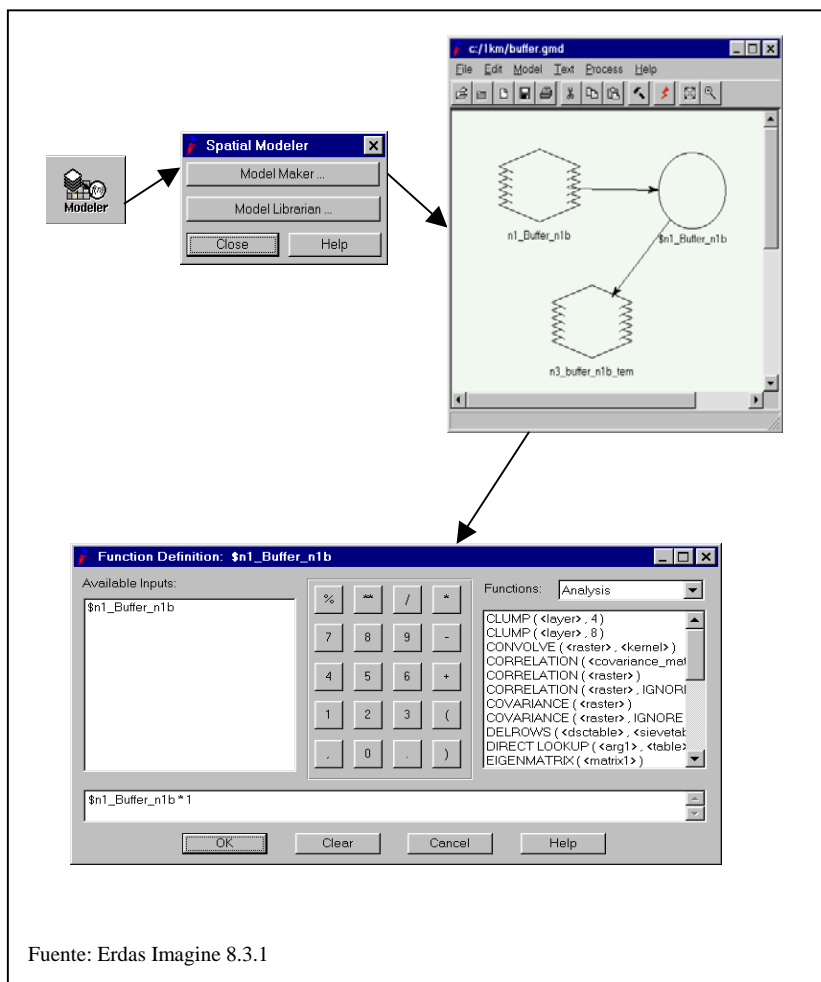
El resultado es un fichero de tipo continuo¹³ con el cual no se puede operar; por ello, es necesario pasar este fichero a temático¹⁴. Esta operación puede realizarse mediante un programa generado con el *MODEL MAKER* de ERDAS IMAGINE (figura n° 66).

¹³ Fichero Continuo: Ficheros de datos cuantitativos en forma de valores continuos

¹⁴ Fichero Temático: Ficheros de datos cualitativos. Los valores de fichero son discretos y cada valor representa una característica concreta.

El fichero temático se consigue mediante la aplicación de una función definida por la multiplicación del fichero continuo por el valor “1” (figura nº 66).

Figura Nº 66: Generación de un fichero temático.



El proceso explicado anteriormente se realiza para una sola carretera, pero debe repetirse individualmente para cada una de las carreteras y también para el conjunto de las carreteras (fichero que une todas las carreteras). El motivo de repetir el proceso de las dos formas es porque para análisis posteriores hacen falta los ficheros individualizados de las carreteras y el fichero que agrupa todas las carreteras.

El mapa nº 26 refleja el resultado de la generación del *buffer* para el total de las carreteras de la Comunidad de Madrid.

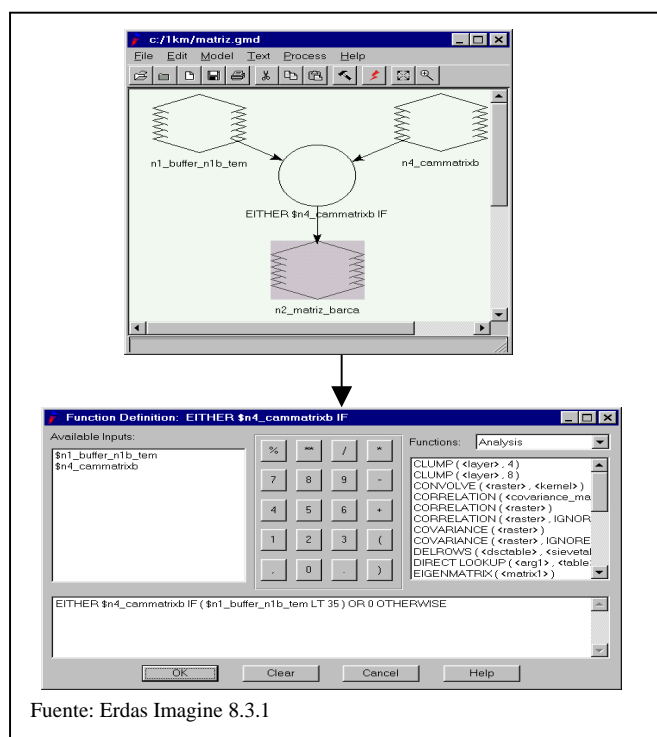
4.4. DETECCIÓN DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN TORNO A LAS PRINCIPALES CARRETERAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID 1987-1997

El análisis de los cambios de usos del suelo en torno a las carreteras principales de la Comunidad de Madrid se va a realizar mediante la generación de un mapa que contenga estos cambios.

Este mapa se elabora a partir del fichero matricial; es decir, del mapa que representa los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid (mapa nº 25); por lo tanto, es necesario extraer de este fichero (mapa) únicamente los cambios producidos en la zona del *buffer* de 1Km. Este proceso se consigue generando un programa con el *MODEL MAKER* de ERDAS IMAGINE.

El desarrollo de este proceso se expresa gráficamente en la figura nº 67. El resultado aparece reflejado en el mapa nº 27.

Figura Nº 67: Cambios totales de usos del suelo en torno a las principales carreteras de la Comunidad de Madrid.



Este proceso se realiza para el total de las carreteras, pero también debe repetirse individualmente para cada una de las carreteras. El motivo (al igual que en el apartado anterior) es la necesidad de utilizar todos los ficheros en análisis posteriores. No incluimos los mapas individuales de cada carretera porque serían parte del mapa global (mapa nº 27).

4.5. ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN LA COMUNIDAD DE MADRID Y EN TORNO A LAS CARRETERAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID 1987-1997

El análisis de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid y en torno a las principales carreteras de la Comunidad de Madrid se ha realizado según las siguientes fases:

1. Generación de Cartografía.
2. Análisis comparativo de los cambios globales en la Comunidad de Madrid y en las carreteras.
3. Análisis de cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid.
4. Análisis de cambios de usos del suelo en torno a las carreteras de la Comunidad de Madrid.
5. Conclusiones.

1. Generación de Cartografía.

El análisis de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid y en torno a las principales carreteras de la Comunidad de Madrid se realiza mediante la generación de mapas de cambios individualizados por usos. Estos mapas sirven para detectar claramente los nuevos usos¹⁵ que han aparecido en la Comunidad de Madrid y en torno a las carreteras en el periodo de estudio y se mediante una serie de programas generados con el *MODEL MAKER* de ERDAS IMAGINE; para ello debe definirse una función que extraiga del total de cambios producidos en la Comunidad de Madrid (mapa nº 25) y en las carreteras (mapa nº 27) sólo las clases que representen un cambio a urbano, a secano, a vegetación natural, a espacios abiertos con poca vegetación, a forestal, a regadío y a agua.

El total de programas que deben realizarse es siete para el total de la Comunidad de Madrid y siete para las carreteras (uno por cada cambio de uso). Nosotros vamos a representar gráficamente sólo uno de ellos. El ejemplo seleccionado es la transformación o cambio de cualquier uso a urbano. La figura nº 68 muestra la representación gráfica de este proceso.

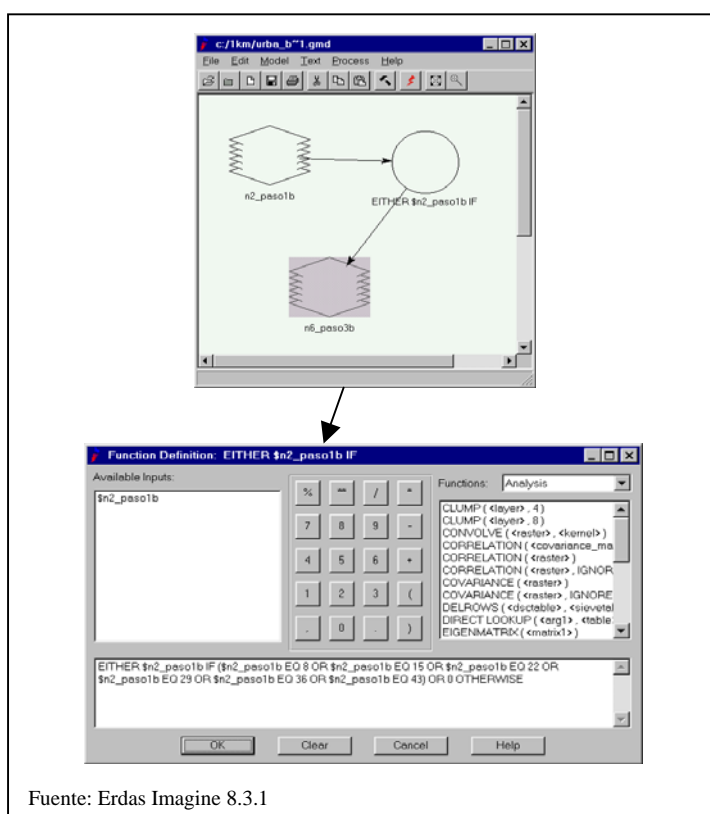
Para realizar este programa previamente debemos conocer el número de clase correspondiente a cada una de las clases que representan un cambio a urbano. Esta información se extrae del mapa total de cambios realizado para el total de la Comunidad de Madrid o para las carreteras, las clases son las mismas en ambos mapas (mapa nº 25 y nº 27). Estas clases son:

- Secano que se transforma a Urbano: número 8
- Regadío que se transforma a Urbano: número 15

¹⁵ El concepto de nuevos usos no significa la aparición de nuevos usos que no existían anteriormente en la Comunidad de Madrid. Este concepto se aplica a la aparición en 1997 de espacios con un uso diferente al que tenían en 1987.

- Forestal que se transforma a Urbano: número 22.
- Vegetación Natural que se transforma a Urbano: número 29.
- Espacios abiertos con poca vegetación que se transforma a Urbano: número 36.
- Agua que se transforma a Urbano: número 43.

Figura N° 68 Transformación de usos del suelo a uso urbano.



Fuente: Erdas Imagine 8.3.1

El resultado de estos cambios para la Comunidad de Madrid y para las carreteras aparece en los siguientes mapas:

- Mapa N°28: Cambios a uso urbano en la Comunidad de Madrid (1987-1997) .
- Mapa N°29 Cambios a uso urbano en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°30: Cambios a uso seco en la Comunidad de Madrid (1987-1997) .
- Mapa N°31: Cambios a uso seco en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°32: Cambios a uso regadío en la Comunidad de Madrid (1987-1997).

- Mapa N°33: Cambios a uso regadío en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°34: Cambios a uso forestal en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°35: Cambios a uso forestal en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°36: Cambios a uso vegetación natural en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°37: Cambios a uso vegetación natural en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°38: Cambios a uso espacios abiertos en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N° 39: Cambios a uso espacios abiertos en las carreteras (1987-1997)
- Mapa N°48: Cambios a uso agua en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- Mapa N° 41: Cambios a uso agua en las carreteras (1987-1997)

Mediante el mismo proceso pero variando únicamente los valores en los modelos (14 modelos en total) se pueden detectar los usos que han desaparecido en la Comunidad de Madrid y en torno a las carreteras en el periodo de estudio. Los mapas resultado de este proceso son:

- Mapa N°42: Cambios de uso urbano en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°43: Cambios de uso urbano en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°44: Cambios de uso secano en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°45: Cambios de uso secano en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°46: Cambios de uso regadío en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°47: Cambios de uso regadío en las carreteras (1987-1997).

- Mapa N°48: Cambios de uso forestal en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°49: Cambios de uso forestal en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°50: Cambios de uso vegetación natural en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°51: Cambios de uso vegetación natural en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°52: Cambios de uso espacios abiertos en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N° 53: Cambios de uso espacios abiertos en las carreteras (1987-1997).
- Mapa N°54: Cambios de uso agua en la Comunidad de Madrid (1987-1997).
- Mapa N°55: Cambios de uso agua en las carreteras (1987-1997).

2. Análisis comparativo de los cambios globales en la Comunidad de Madrid y en las carreteras.

El análisis comparativo de los cambios globales en la Comunidad de Madrid y en las carreteras se realiza mediante la generación de tablas estadísticas y gráficos que contienen datos cuantitativos de los cambios.

La tabla nº 19 muestra la cuantificación de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid y en las carreteras en datos absolutos (pixels) y en porcentajes. Esta tabla se ha generado teniendo en cuenta sólo los pixels que han cambiado. Para ello partimos de las estadísticas del mapa de cambios totales en la Comunidad de Madrid (mapa nº 25) y del mapa de cambios totales en torno a las principales carreteras (mapa nº 27).

Tabla N°19: Cambios usos del suelo en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997

| Nº Clase | Nombre Clase | Cambios pixel CAM | Cambios %CAM | Cambios pixel carreteras | Cambios% carreteras |
|----------|----------------------|-------------------|----------------|--------------------------|---------------------|
| 0 | | | | | |
| 2 | Urbano A Secano | 79.535 | 2,141 | 13.416 | 4,452 |
| 3 | Urbano A VNatural | 81.400 | 2,191 | 10.413 | 3,455 |
| 4 | Urbano A EA | 7.118 | 0,192 | 773 | 0,256 |
| 5 | Urbano A Forestal | 25.436 | 0,685 | 3.614 | 1,199 |
| 6 | Urbano A Regadío | 18.716 | 0,504 | 1.045 | 0,347 |
| 7 | Urbano A Agua | 1.214 | 0,033 | 212 | 0,070 |
| 8 | Secano/Urbano | 190.506 | 5,128 | 45.384 | 15,059 |
| 10 | Secano/V. Natural | 510.466 | 13,741 | 45.735 | 15,176 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 105.054 | 2,828 | 6.921 | 2,297 |
| 12 | Secano /Forestal | 146.338 | 3,939 | 8.238 | 2,734 |
| 13 | Secano/Regadío | 96.009 | 2,584 | 5.038 | 1,672 |
| 14 | Secano Agua | 493 | 0,013 | 0 | 0,000 |
| 15 | Regadío/Urbano | 18.063 | 0,486 | 3.069 | 1,018 |
| 16 | Regadío A Secano | 85.184 | 2,293 | 8.585 | 2,849 |
| 17 | RegadíoA VNatural | 18.265 | 0,492 | 3.099 | 1,028 |
| 18 | Regadío A EA | 2.996 | 0,081 | 162 | 0,054 |
| 19 | Regadío A Forestal | 4.524 | 0,122 | 454 | 0,151 |
| 21 | Regadío A Agua | 491 | 0,013 | 59 | 0,020 |
| 22 | Forestal /Urbano | 23.868 | 0,642 | 4.699 | 1,559 |
| 23 | Forestal A Secano | 41.922 | 1,128 | 1.820 | 0,604 |
| 24 | Forestal A V Natural | 248.122 | 6,679 | 7.713 | 2,559 |
| 25 | Forestal A EA | 10.682 | 0,288 | 96 | 0,032 |
| 27 | Forestal A Regadío | 20.153 | 0,542 | 692 | 0,230 |
| 28 | Forestal A Agua | 6.833 | 0,184 | 91 | 0,030 |
| 29 | V Natural/Urbano | 173.276 | 4,664 | 42.328 | 14,045 |
| 30 | VNatural A Secano | 485.641 | 13,073 | 29.488 | 9,785 |
| 32 | VNatural A EA. | 57.454 | 1,547 | 3.207 | 1,064 |
| 33 | V Natural A Forestal | 1.033.628 | 27,823 | 46.094 | 15,295 |
| 34 | VNatural A Regadío | 71.342 | 1,920 | 3.613 | 1,199 |
| 35 | VNatural A Agua | 15.625 | 0,421 | 209 | 0,069 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 2.449 | 0,066 | 110 | 0,036 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 3.522 | 0,095 | 164 | 0,054 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 43.456 | 1,170 | 2.485 | 0,825 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 47.112 | 1,268 | 739 | 0,245 |
| 41 | EAbiertos A Regadío | 633 | 0,017 | 19 | 0,006 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 2.281 | 0,061 | 0 | 0,000 |
| 43 | Agua A Urbano | 2.132 | 0,057 | 397 | 0,132 |
| 44 | Agua A Secano | 5.813 | 0,156 | 164 | 0,054 |
| 45 | Agua A VNatural | 10.203 | 0,275 | 503 | 0,167 |
| 46 | Agua A EA | 808 | 0,022 | 11 | 0,004 |
| 47 | Agua A Forestal | 9.674 | 0,260 | 260 | 0,086 |
| 48 | Agua A Regadío | 6.516 | 0,175 | 252 | 0,084 |
| | TOTAL | 3.714.953 | 100,000 | 301.371 | 100,000 |

Fuente: Elaboración Propia

Tomando como base los resultados de la tabla nº 19 se establece una comparación entre los usos nuevos que aparecen en la Comunidad de Madrid y en carreteras y los viejos; es decir, los desaparecidos en la Comunidad de Madrid y en las carreteras. La tabla nº 20 y el gráfico nº 2 reflejan la comparación entre los usos nuevos. La tabla nº 21 y el gráfico nº 3 reflejan la comparación entre los usos que han desaparecido.

La conclusión más importante derivada del análisis de la tabla nº 20 y del gráfico nº 2 es que existe una gran proporcionalidad entre los usos nuevos que han aparecido en la Comunidad de Madrid y en las carreteras en todos los usos salvo en dos casos:

1. Por un lado el uso forestal aumenta más (34,10%) en la Comunidad de Madrid que en las carreteras (19,71%) lo que es totalmente lógico.
2. En segundo lugar y lo más importante para nuestro estudio es que el uso urbano experimenta mayor aumento en las carreteras (31,85%) que en la Comunidad de Madrid, lo cual nos acerca a la idea que las carreteras son un factor determinante en el crecimiento urbano.

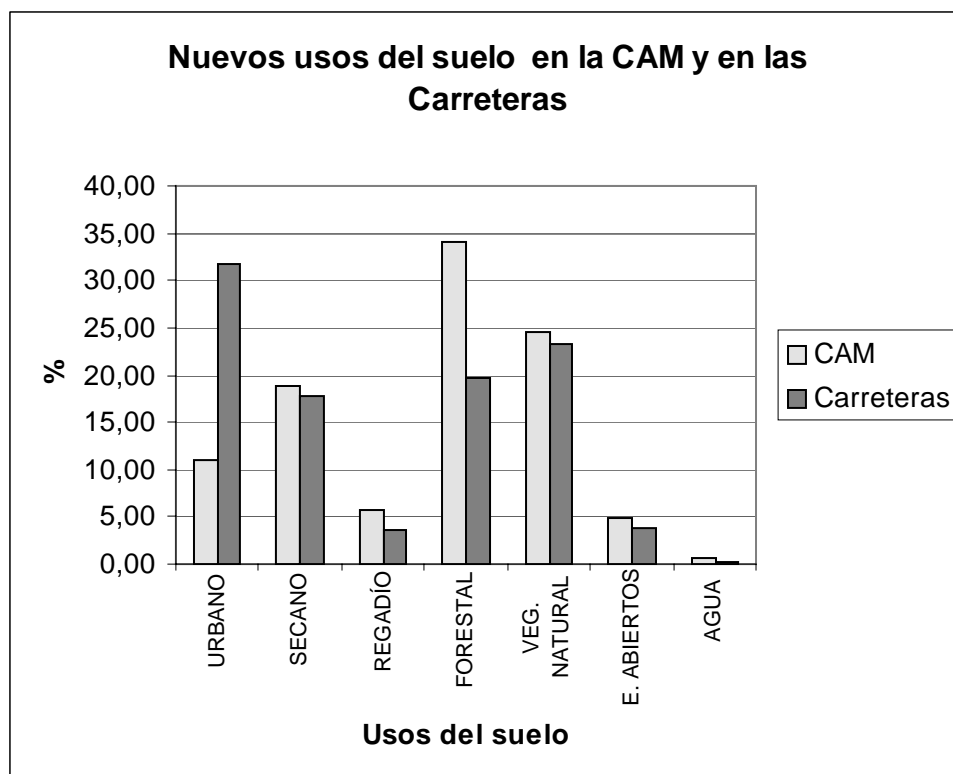
Por el contrario, el análisis de la tabla nº 21 y del gráfico nº 3 no refleja desproporción entre los usos desaparecidos en la Comunidad de Madrid y en las carreteras.

Tabla N° 20: Nuevos usos del suelo en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997

| Usos | Nuevo en la CAM Pixels | Nuevo en la CAM % | Nuevo en carreteras Pixels | Nuevo en carreteras % |
|--------------|------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------|
| Urbano | 410.294 | 11,04 | 95.987 | 31,85 |
| Secano | 701.617 | 18,89 | 53.637 | 17,80 |
| Regadío | 213.369 | 5,74 | 10.659 | 3,54 |
| Forestal | 1.266.712 | 34,10 | 59.399 | 19,71 |
| Veg. natural | 911.912 | 24,55 | 69.948 | 23,21 |
| E.abiertos | 184.112 | 4,96 | 11.170 | 3,71 |
| Agua | 26.937 | 0,73 | 571 | 0,19 |
| TOTAL | 3.714.953 | 100,00 | 301.371,000 | 100,00 |

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 2: Nuevos usos del suelo en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997



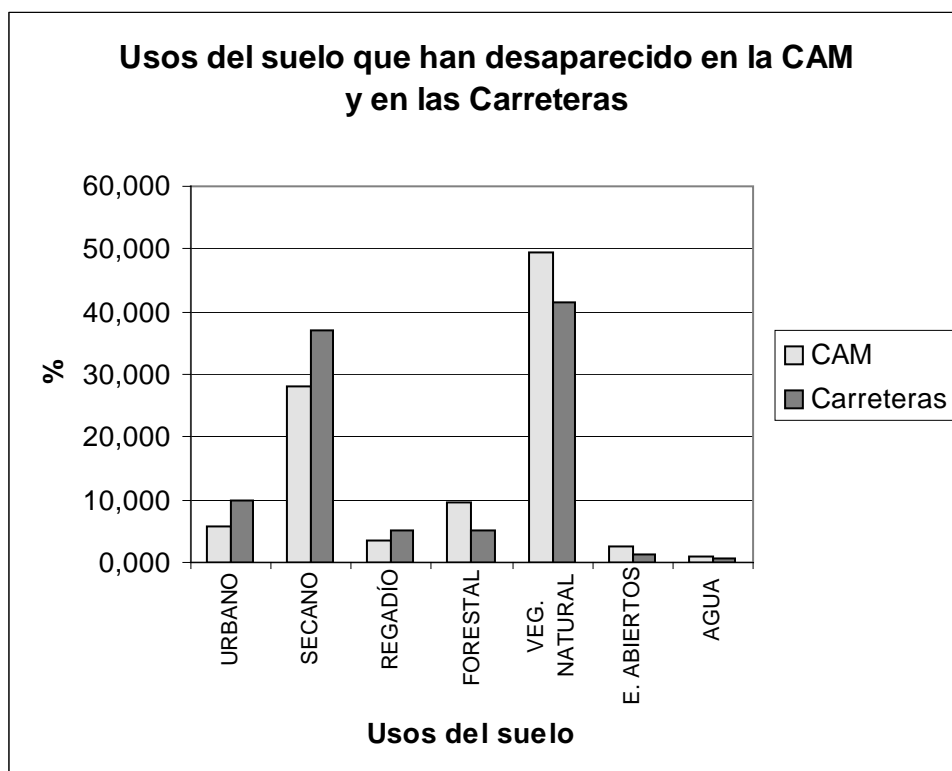
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 21: Usos del suelo desaparecidos en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997

| Usos | Desaparecido en la CAM Pixels | Desaparecido en la CAM % | Desaparecido en carreteras Pixels | Desaparecido en carreteras % |
|--------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Urbano | 213419 | 5,745 | 29.473 | 9,780 |
| Secano | 1048866 | 28,234 | 111316 | 36,937 |
| Regadío | 129523 | 3,487 | 15428 | 5,119 |
| Forestal | 351580 | 9,464 | 15111 | 5,014 |
| Veg. natural | 1836966 | 49,448 | 124939 | 41,457 |
| E..abiertos | 99453 | 2,677 | 3517 | 1,167 |
| Agua | 35146 | 0,946 | 1587 | 0,527 |
| TOTAL | 3714953 | 100,000 | 301.371,000 | 100,00 |

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 3: Usos del suelo desaparecidos en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997



Fuente: Elaboración Propia

3. Análisis de cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid

Aunque el objetivo general de este estudio se centra en el espacio que rodea a las carreteras principales de la Comunidad de Madrid, hemos establecido como objetivo específico analizar a grandes rasgos los resultados más significativos de los cambios de usos del suelo para el total de la Comunidad de Madrid.

La explicación detallada de cada uno de los cambios se ha realizado mediante análisis visual de los diferentes mapas de cambio y fundamentalmente a través de la superposición gráfica en pantalla (en ERDAS IMAGINE) de todos y cada uno de los mapas de cambio con las diferentes fuentes de información utilizadas en el desarrollo de este trabajo.

La primera superposición gráfica se ha realizado con cada mapa de cambio y con el mapa completo de *Corine Land Cover* de la Comunidad de Madrid (46 clases) (mapa nº 16). La superposición de estos dos mapas indica la procedencia detallada de los diferentes cambios. La nomenclatura utilizada para explicar estos cambios está basada en la leyenda del *Corine Land Cover* explicada anteriormente en el capítulo número 2.

En segundo lugar, hemos realizado una superposición gráfica de cada mapa de cambio con las imágenes originales: imágenes LANDSAT TM del 11 de agosto de 1987, 31 de marzo de 1997 y 22 de agosto de 1997 y la imagen IRS 1C de 1997. Esta segunda superposición se ha realizado para comprobar la veracidad de los cambios. La imagen IRS 1C se ha utilizado para las comprobaciones más detalladas. La imagen LANDSAT TM de 1987 para comprobar áreas que nos parecían erróneas en el mapa *Corine Land Cover*. Las imágenes LANDSAT TM de 1997 para comprobar áreas no cubiertas por la imagen IRS 1C y fundamentalmente (por resolución espectral) para comprobar posibles errores debidos a la diferente respuesta espectral originada por las mismas clases en diferentes fechas, por ejemplo los regadíos en marzo y en agosto.

Por último para facilitar la localización espacial de los diferentes cambios, hemos superpuesto los diferentes mapas de cambio con la cobertura vectorial de municipios y núcleos urbanos de la BCN 200.

Todas estas superposiciones nos han servido para explicar los diferentes mapas de cambios producidos tanto en toda la Comunidad de Madrid como en torno a las diferentes carreteras. Es obvio que resulta imposible demostrar en nuestro trabajo todas estas superposiciones.

Antes de analizar los cambios queremos especificar algunos factores comunes a todos los mapas y que inducen a error.

1. En un capítulo anterior (Capítulo 3, punto 3.2), explicamos que el mapa de usos del suelo de Comunidad de Madrid en 1987 había sido transformado a un pixel de 200m. Comentamos también que antes de decidir trabajar con este fichero hicimos una prueba con un fichero de 30m de pixel no existiendo diferencias considerables entre los ficheros de 200m y de 30m. Las diferencias existentes estaban únicamente en las zonas de bordes entre las clases. Esta es la razón por la cual en algunos casos aparecen más cambios que los que realmente existen y que se detectan bastante bien en los mapas porque adquieren normalmente formas lineales. Por este motivo, la explicación se va a centrar en aquellas áreas (grupos de píxeles) que consideremos ocupan una mayor superficie.
2. Recordemos que el mapa de usos del suelo de la Comunidad de Madrid en 1987 (resultado del proyecto *Corine Land Cover*) fue realizado mediante fotointerpretación. Por el contrario, el de usos del suelo de la Comunidad de Madrid para año 1997 en su mayor parte (salvo la mayor parte del uso urbano) ha sido realizado con técnicas de clasificación automática de imágenes de satélite; es decir, se ha generalizado más en las clases de 1987 y esto explica la aparición de clases más homogéneas y más compactas que en

1997. La misma razón explica la existencia de áreas más precisas en el mapa de 1987 (algunas áreas industriales o deportivas o residenciales) que en el de 1997.

3. El uso urbano ha sido extraído en su mayor parte mediante fotointerpretación de la imagen IRS 1C (figura nº 49). La imagen ocupa la mayor parte de la Comunidad de Madrid pero no toda; esta es la razón por la cual existen áreas urbanas que se detectan peor y en algunos casos prácticamente no se ven (las fotointerpretadas a partir de la imagen LANDSAT TM).

Los cambios a urbano en la Comunidad de Madrid (mapa nº 28) representan un 11,04% sobre el total de los cambios (tabla nº 20) y están distribuidos de la siguiente forma (tabla nº 19):

- Secano en un 5,1%.
- Regadío en un 0,48%.
- Forestal en un 0,64%.
- Vegetación Natural en un 4,6 %.
- Espacios abiertos en un 0,066%.
- Agua en un 0,057%.

Los cambios a urbano proceden mayoritariamente del secano y de la vegetación natural; el resto son prácticamente inapreciables y no consideramos oportuno explicarlos.

El nuevo uso urbano procedente del secano se corresponde en primer lugar con las grandes promociones de suelo urbano desarrolladas en la Comunidad de Madrid; en segundo lugar con el desarrollo urbano intermedio experimentado por

algunos municipios de la Comunidad y por último por el desarrollo urbano menor, advertido en los municipios más pequeños de la Comunidad de Madrid.

Los espacios que experimentan un mayor crecimiento urbano están representados por el desarrollo urbano de Alcobendas, San Sebastián de los Reyes, Coslada, Alcalá de Henares, Vicálvaro, Vallecas, Valdebernardo, Rivas Vaciamadrid, Arganda del Rey, los municipios del sur de la Comunidad (Getafe, Leganés, Móstoles, Parla, Alcorcón, Fuenlabrada, Pinto, etc.), Navalcarnero, Boadilla del Monte, Villaviciosa de Odón y Arroyomolinos.

Otros espacios que representan un gran crecimiento del uso urbano procedente de secano son la tercera pista del aeropuerto de Barajas, el espacio residencial desarrollado en torno a la avenida de los Poblados, así como las zonas comerciales e industriales surgidas como consecuencia de las carreteras orbitales, fundamentalmente la M-50; ejemplo son el enlace de la Carretera de Andalucía y la de Toledo entre los municipios de Getafe y Pinto o entre los municipios de Móstoles y Alcorcón.

Las figuras nº 69 y nº 70 representan un ejemplo de crecimiento en los municipios de Boadilla del Monte y Getafe; en azul aparece el área que en 1987 era urbana pudiéndose diferenciar claramente en la imagen IRS 1C el crecimiento experimentado por estos municipios.

Las zonas mencionadas hasta ahora representan las áreas con mayor crecimiento pero también aparecen en el mapa las áreas de crecimiento menor en torno al municipio de Madrid y a su periferia.

Los espacios que experimentan un crecimiento intermedio están representados entre otros por los municipios de San Agustín de Guadalix y las urbanizaciones de Ciudadcampo y Valdelagua, Valdetorres de Jarama, Algete, Fuente el Sanz de Jarama, Ajalvir y Daganzo de Arriba, Torres de la Alameda Valdilecha, Campo

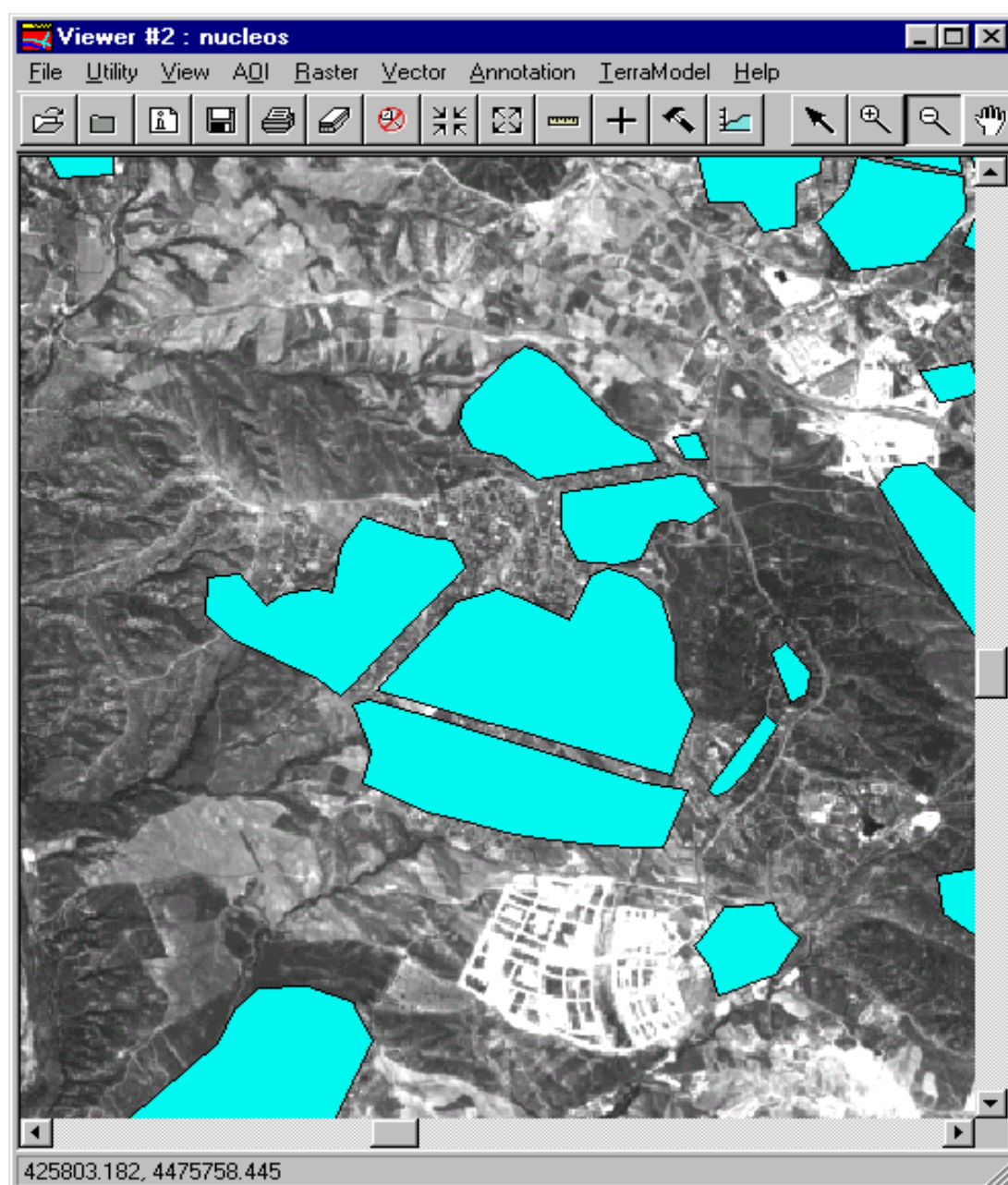
Real, Loeches, Villarejo de Salvanés, Fuentidueña de Tajo, Colmenar de Oreja, Chinchón, Griñón, el Alamo, Sevilla la Nueva, Villanueva de Perales, Villa del Prado, Cadalso de los Vidrios, Colmenar de Arroyo, Navas del Rey, etc.

Los grupos de píxeles más pequeños que representan cambio de secano a urbano se corresponden con el desarrollo urbano de los municipios más pequeños de la Comunidad de Madrid. No vamos a mencionar estos municipios porque deberíamos citar prácticamente todos.

La extensión del uso urbano a expensas de la vegetación natural es evidente en:

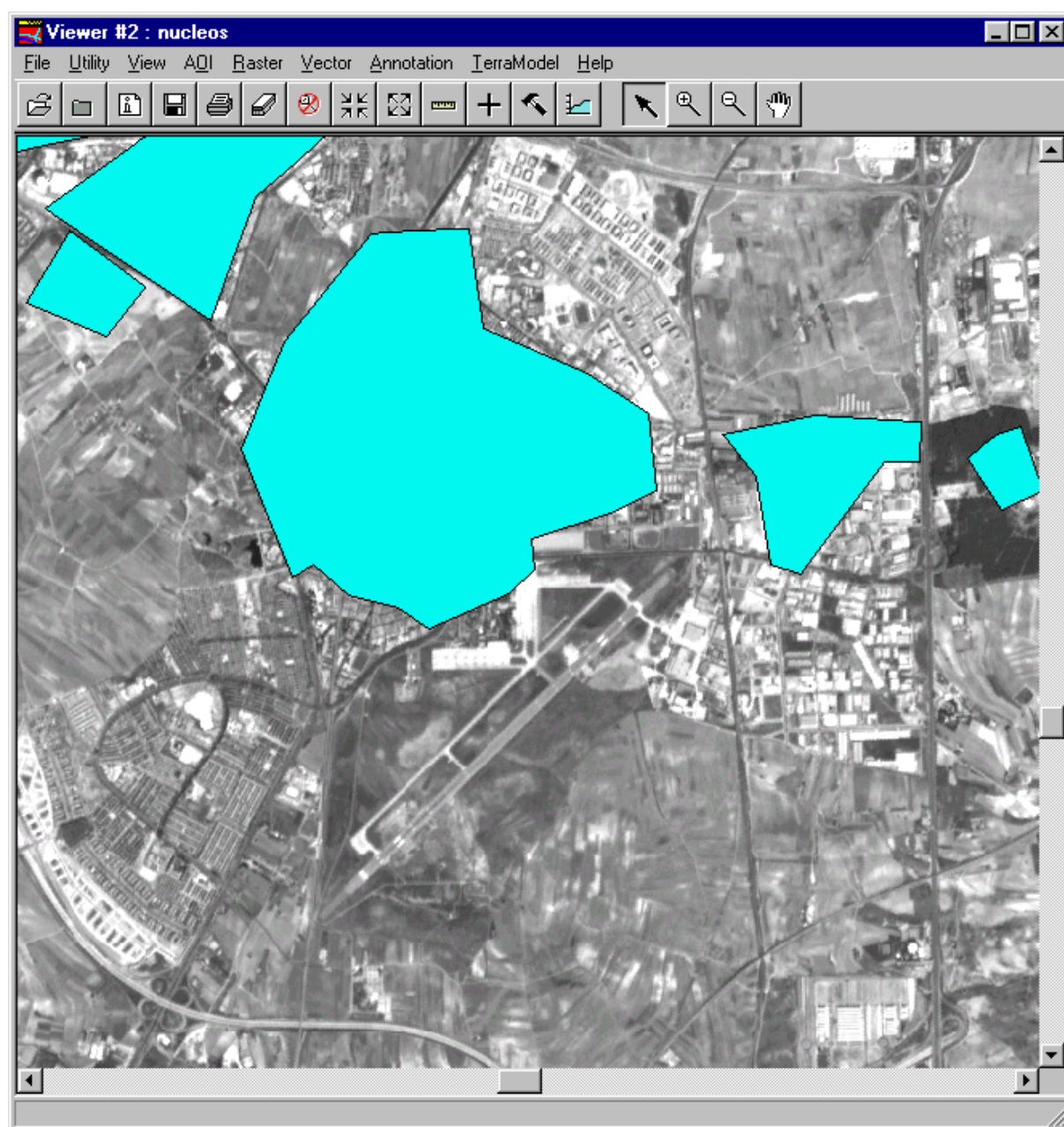
- Los alrededores de Rivas Vaciamadrid; aquí el uso urbano se extiende a expensas de antiguos matorrales subarborescentes o arbustivos.
- La extensión de Madrid hacia la carretera de Barcelona (Canillejas, Parque de las Naciones, Marqués de Suances, etc.) hacia el Sur en torno a Vallecas y hacia el Oeste (parte de Boadilla del Monte), Parque Coimbra, se realiza debido a la transformación de áreas anteriormente ocupadas por otros pastizales.
- El desarrollo urbano de Madrid hacia el Noroeste, en torno a la carretera de la Coruña, se efectúa debido a la desaparición de áreas ocupadas anteriormente por matorral boscoso en transición.

Figura N° 69: Municipio de Boadilla del Monte



Fuente: Erdas Imagine 8.3.1. y Elaboración Propia

Figura N° 70: Municipio de Getafe



Fuente: Erdas Imagine y Elaboración Propia

Los cambios a secano en la Comunidad de Madrid (mapa nº 30) representan un 18,89% sobre el total de cambios (tabla nº 20) y están distribuidos de la siguiente forma (tabla nº 19):

- Urbano en un 2,14%.
- Regadío en un 2,29%.
- Forestal en un 1,12%.
- Vegetación Natural en un 13,07 %.
- Espacios abiertos en un 0,095%.
- Agua en un 0,15%.

Los cambios procedentes de urbano no están en ningún momento derivados de la desaparición de tejido urbano más o menos consolidado, apareciendo muy dispersos por toda la Comunidad. Los motivos de estos cambios son:

- En la recodificación del *Corine Land Cover* (mapa nº 17) unimos bajo una sola clase (urbano) todas las superficies artificiales. Esta razón hace que desaparezcan áreas urbanas correspondientes con antiguas zonas de extracción minera. Ejemplos de este caso aparecen en la parte noreste de la Comunidad en torno al río Jarama (inmediaciones de Torrelaguna, Talamanca de Jarama, Valdetorres de Jarama, etc.).
- Al Sur de la zona mencionada (aproximadamente términos municipales de Valdeavero, Ribatejada) aparece una zona muy pequeña de desaparición de uso urbano. En este caso la explicación se debe a que la imagen IRS 1C no llega a esta zona y al fotointerpretar en la imagen LANDSAT TM no se detectan bien estos núcleos urbanos quizás por su escasa dimensión.

- Otra zona que aparece como un espacio en el cual ha disminuido el uso urbano a favor del secano es en las inmediaciones del aeropuerto de Torrejón. En este caso se debe a un criterio diferente de fotointerpretación, más amplio en el año 1987, incluyendo no solo el aeropuerto sino los terrenos asociados y menos amplio en 1997 limitándonos al espacio construido.

Los cambios a secano procedentes de regadío se deben fundamentalmente a dos razones.

1. La primera es el abandono de zonas de huertas en áreas próximas a las grandes ciudades las cuales utilizan estos espacios para construir; ocurre en la mayor parte de los cambios de la zonas Sur de la Comunidad (municipios de Fuenlabrada, Getafe, Parla, Humanes, Griñón, etc.).
2. La segunda razón puede ser un error de *Corine Land Cover* porque en la imagen de 1987 no parecen regadíos, sobre todo si tenemos en cuenta la fecha de la imagen (ni en la imagen de marzo ni en la de agosto dan la misma respuesta espectral que el resto de los regadíos de la Comunidad de Madrid).

Los cambios más importantes a secano son los procedentes de la Vegetación Natural. En este caso la mayor parte proceden de otros pastizales (fundamentalmente al sureste de la Comunidad en las Vegas del Tajuña y el Jarama). Hacia el sureste algunas zonas proceden de matorral subarbustivo o Arbustivo y en otras de terrenos agrícolas con vegetación natural.

Los cambios a regadío en la Comunidad de Madrid (mapa nº 32) representan un 5,74% sobre el total de cambios (tabla nº 20) y están distribuidos de la siguiente forma (tabla nº 19):

- Urbano en un 0,5%.
- Secano en un 2,58%.
- Forestal en un 0,5%.
- Vegetación Natural en un 1,92 %.
- Espacios abiertos en un 0,01%.
- Agua en un 0,177%.

La mayor parte de los cambios a regadío coinciden con las zonas de bordes, ocasionadas por el cambio de tamaño de pixel, señalados anteriormente.

Los cambios a regadío proceden mayoritariamente del secano. Existen zonas que se han convertido a regadío (o al menos aparecían como regadío en el mapa *Corine Land Cover*) en torno al río Guadalix y en la misma zona en torno al Jarama, en las inmediaciones de núcleo urbano de San Agustín de Guadalix y en la confluencia del Jarama con el Henares.

El otro cambio importante a regadío procede de la vegetación natural. En este caso se debe a que la clasificación ha cogido más espacios que los existentes realmente y no fueron detectados mediante fotointerpretación en el mapa *Corine Land Cover*. Estos cambios proceden de zonas de matorral subarborescente (Villamanrique de Tajo, borde sureste de la Comunidad en torno al río Tajo) y de otros pastizales en torno a la zona de San Agustín de Guadalix.

Los cambios a forestal en la Comunidad de Madrid (mapa nº 34) representan un 34,10% sobre el total de cambios (tabla nº 20) y están distribuidos de la siguiente forma (tabla nº 19):

- Urbano en un 0,68%.
- Secano en un 3.93%.
- Regadío en un 0,12 %.
- Vegetación Natural en un 27.8 %.
- Espacios abiertos en un 1,26%.
- Agua en un 0,267%.

Los cambios procedentes de secano son debidos a:

- Mosaicos de cultivos anuales y cultivos permanentes; se sitúan en la parte más al norte de la Comunidad de Madrid. No todos se deben a la transformación de cultivos anuales y cultivos permanentes sino que también hay importantes zonas de praderas transformadas a forestal. El mismo caso aparece en toda la parte noreste de la Comunidad (Valle del Lozoya).
- Transformación de espacios ocupados por terrenos agrícolas pero con vegetación natural. Se encuentran localizados también en la parte más al norte de la Comunidad de Madrid en la zona anteriormente señalada (aproximadamente los municipios de Montejo de la Sierra, Horcajuelo de la Sierra, Prádena del Rincón.)
- El mayor cambio procedente del secano se debe a la transformación de los sistemas agroforestales y ocupan el resto de los espacios de la Comunidad de Madrid que representan el cambio a forestal procedente de secano (Toda la fachada oeste tanto norte como sur).

Los cambios a forestal más numerosos proceden de la vegetación natural. Resulta prácticamente imposible señalar alguna zona concreta en la cual el origen de los cambios sea el mismo; por ello, en este caso vamos explicarlo de forma bastante general.

El origen está en la transformación de espacios que en 1987 estaban ocupados por matorral boscoso en transición (degradación del bosque o repoblación forestal), por pastizales supraforestales ,grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso y matorral subarborescente o arbustivo.

Los cambios a forestal procedentes de espacios abiertos proceden todos de roquedo.

Los cambios a vegetación natural en la Comunidad de Madrid (mapa nº 36) representan un 24,55% sobre el total de cambios (tabla nº 20) y están distribuidos de la siguiente forma (tabla nº 19):

- Urbano en un 2,19%.
- Secano en un 13,7%.
- Regadío en un 0,49%.
- Forestal en un 6,67%.
- Espacios abiertos en un 1,17%.
- Agua en un 0,27%.

Los cambios a vegetación natural procedentes de urbano derivan de zonas que en 1987 estaban en construcción; estos espacios se encuentran localizados en el Sureste de la Comunidad de Madrid coincidiendo aproximadamente con los términos municipales de Valdemoro y Villaconejos-Colmenar de Oreja. En este caso la explicación se deriva bien de un error de *Corine Land Cover* o bien de

que fueron espacios que empezaron a construirse y se abandonaron, porque en la imagen IRS 1C de 1997 no aparecen en ningún momento como zonas construidas.

Otra de las transformaciones a vegetación natural procedentes de urbano se deriva de antiguas zonas de extracción minera que han sido abandonadas. Se localizan en el actual Parque del Sureste.

El resto de las transformaciones que aparecen se deben a que en los usos del año 1987 realizados con fotointerpretación se ha generalizado más y se han tomado como áreas urbanas (superficies artificiales) espacios más amplios que los detectados por la fotointerpretación del año 1997, realizada con imágenes IRS 1C que permiten un mayor grado de detalle.

Los cambios a Vegetación Natural procedentes de secano se deben a:

- Espacios que estaban ocupados por terrenos principalmente agrícolas pero con importantes espacios de vegetación natural. Estos espacios se encuentran bastante diseminados por toda la Comunidad; ejemplos los tenemos en la parte noreste (aproximadamente municipios de Montejo de la Sierra, Horcajuelo de la Sierra, etc.) en torno a Torrelaguna y toda la parte norte del Río Jarama, Parque del Sureste, parte este del Tajuña, y también en la zona más suroeste de la Comunidad (Villa del Prado, Cenicientos).
- Espacios ocupados por praderas. Se encuentran localizados en áreas muy específicas de la Sierra: proximidades del Escorial, Cercedilla y parte del Valle del Lozoya.
- Espacios ocupados por sistemas agroforestales. Se encuentran localizados en Valle del Lozoya, parte norte del Jarama, sureste de la Comunidad.

- Ocupadas por secanos parte más alta del Jarama y sureste de la Comunidad.
- Mosaicos y Viñedos. Localizados mayoritariamente al suroeste de la Comunidad..

Transformaciones a vegetación natural procedentes de forestal:

- Pináceas: (Robledillo de la Jara y Berzosa del Lozoya) parte alta de la Comunidad (Braojos, La Serna de los Montes, etc,), Somosierra, Miraflores y Soto del Real, Casa de Campo, San Martín de Valdeiglesias, Pelayos de la Presa, al Sureste de la Comunidad.
- Caducifolias y rebollares: en torno a Montejo de la Sierra, todo Valle del Lozoya y Rozas de Puerto Real.
- Grandes formaciones de matorral y matorral boscoso en transición: en torno al Pardo, Somosierra, Ribera sur del Guadarrama, en torno al embalse de Picadas, inmediaciones del Escorial.

Los cambios de espacios abiertos a vegetación natural provienen todos de roquedo.

Los cambios a espacios abiertos con poca vegetación en la Comunidad de Madrid (mapa nº 38) representan un 4,96% sobre el total de cambios (tabla nº 20) y están distribuidos de la siguiente forma (tabla nº 19):

- Urbano en un 0,19%.
- Secano en un 2,8%.
- Regadío en un 0,08%.
- Forestal en un 0,28%.
- Vegetación natural en un 1,54%.
- Agua en un 0,02%.

Los cambios procedentes de secano a espacios abiertos con poca vegetación son muy dispersos y en su mayor parte provienen de la generalización del pixel a 200m. La mayor parte se localizan en el sureste de la Comunidad y provienen de secanos, mosaicos de cultivos anuales con permanentes y también de terrenos agrícolas con importantes espacios de vegetación natural.

La dispersión de los pixels también caracteriza los cambios procedentes de Vegetación natural a espacios abiertos. Coincide con zonas de bordes de matorrales Subarbustivos o Arbustivos muy poco densos, de otros pastizales y en algunos casos de pastizales supraforestales.

Los cambios a agua en la Comunidad de Madrid (mapa nº 40) representan un 0,73% sobre el total de cambios (tabla nº 20) y están distribuidos de la siguiente forma (tabla nº 19):

- Urbano en un 0,03%.
- Secano en un 0,01%.
- Regadío en un 0,64%.
- Forestal en un 0,18%.
- Vegetación natural en un 0,42%.
- Espacios abiertos en un 0,06%.

Estos cambios son insignificantes en el total de la Comunidad. Los más importantes proceden de regadío; el motivo es que al pasar de tamaño de pixel de 200 a 30 m parte del curso de los ríos desaparece y pasa a considerarse regadío.

No vamos a comentar los usos que han desaparecido en la Comunidad de Madrid porque implícitamente al explicar los usos nuevos siempre hemos indicado a partir de que usos eran (estos son los que desaparecen).

4. Análisis de cambios de usos del suelo en torno a las carreteras de la Comunidad de Madrid

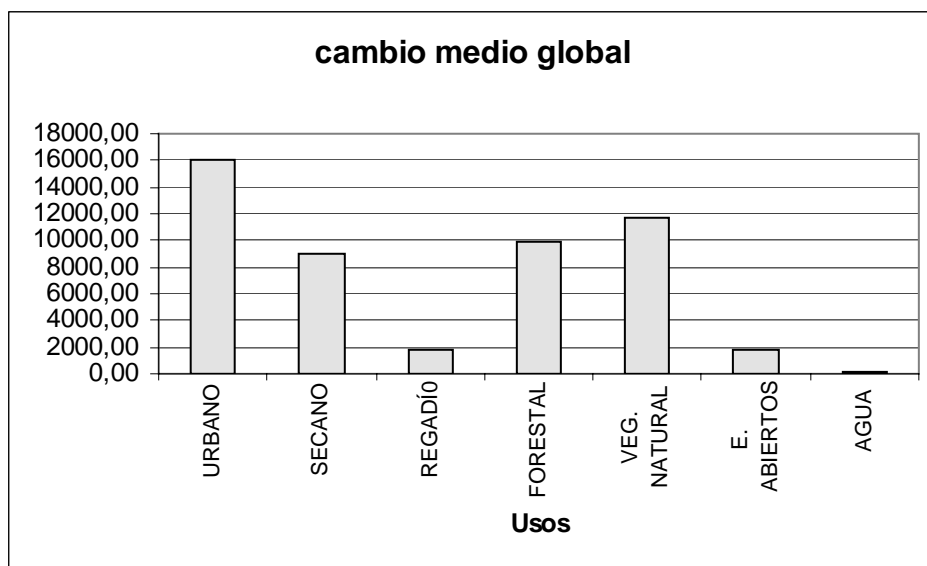
Lo primero que hemos analizado es el cambio medio global para el conjunto de las carreteras y el origen de los cambios para el total de las carreteras. Para ello hemos realizado la tabla nº 22 en la cual aparece representado:

1. El cambio medio a cada uno de los usos. Este cambio medio se ha calculado teniendo en cuenta el total de pixels que han cambiado en cada uso (por ejemplo el total de pixels que han cambiado a urbano) divididos entre seis posibles usos de los cuales proceden los cambios.
2. El coeficiente de procedencia que representa la distribución de cambios por procedencia. Este dato se ha calculado según el siguiente ejemplo: el cambio medio a urbano es igual a 100; esto implica que el número de pixels que cambian de seco a urbano es “ x ”.

El análisis del cambio medio total a nivel global (gráfico nº 4) para el conjunto de las carreteras nos indica que el mayor cambio se ha producido en los usos a urbano (15997,83), seguido por el cambio a vegetación natural (11658), forestal (9899,83) y seco (8939,50), en un tercer nivel estarían los cambios producidos a espacios abiertos 1861,67 y a regadío 1776,50 y por último los cambios a agua prácticamente insignificantes 95,17.

La procedencia de cada uno de los cambios se va a analizar individualmente.

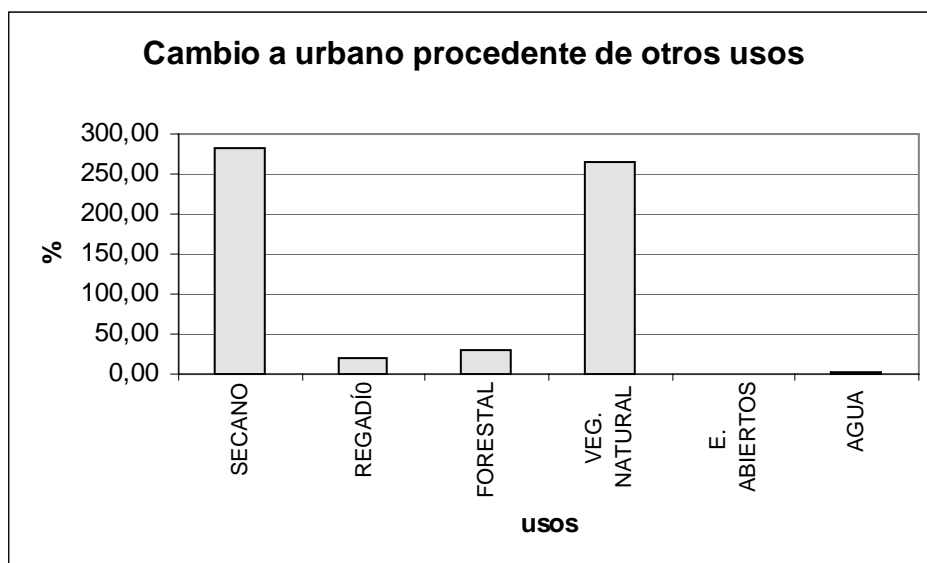
Gráfico N° 4: Cambio medio global



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios a urbano en las carreteras aparecen en el mapa n° 29 y en el gráfico n° 5. Estos cambios proceden fundamentalmente del secano (283,69%) y de la vegetación natural (264,59%). En un segundo grupo estarían los cambios que provienen de forestal (29,37%) y de regadío (19,18%) y prácticamente insignificantes los cambios procedentes de agua y espacios abiertos.

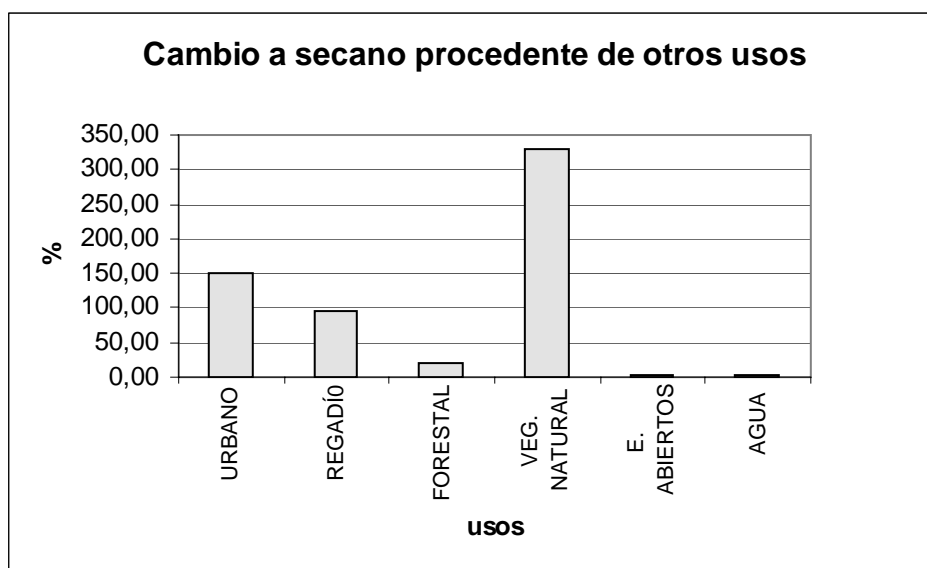
Gráfico N° 5: Cambio a urbano procedente de otros usos



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios a secano en las carreteras aparecen en el mapa n° 31 y en el gráfico n° 6. Estos cambios provienen en primer lugar de la vegetación natural (329, 86%), en segundo y con gran diferencia del urbano (150,08%), en tercer lugar del regadío (96,03%), a continuación del forestal (20,36%) siendo los cambios de los espacios abiertos y del agua insignificantes.

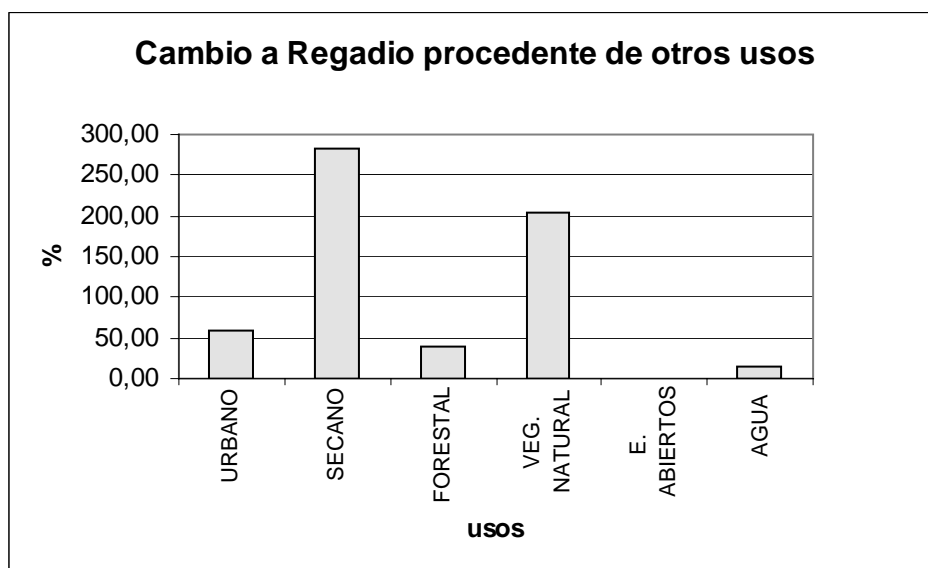
Gráfico N° 6: Cambio a secano procedente de otros usos



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios a regadío en las carreteras aparecen en el mapa n° 33 y en el gráfico n° 7. Estos cambios provienen en primer lugar del secano (283,59%) y de la vegetación natural (203,38%), en segundo lugar están los procedentes de urbano (58,82%) y forestal (38,95%) y por último los procedentes de agua (14,19%) y de espacios abiertos (1,07).

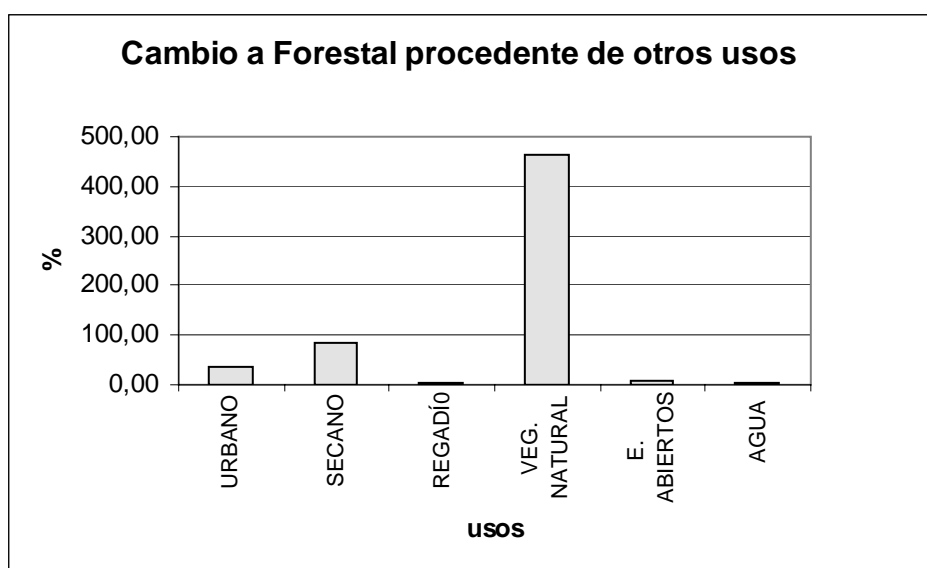
Gráfico N° 7: Cambio a regadío procedente de otros usos



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios a forestal en las carreteras aparecen en el mapa n° 35 y en el gráfico n° 8. Estos cambios vienen mayoritariamente de la vegetación natural (465,60%), destacando en segundo lugar los procedentes del secano (83,21%) y del urbano (36,51%).

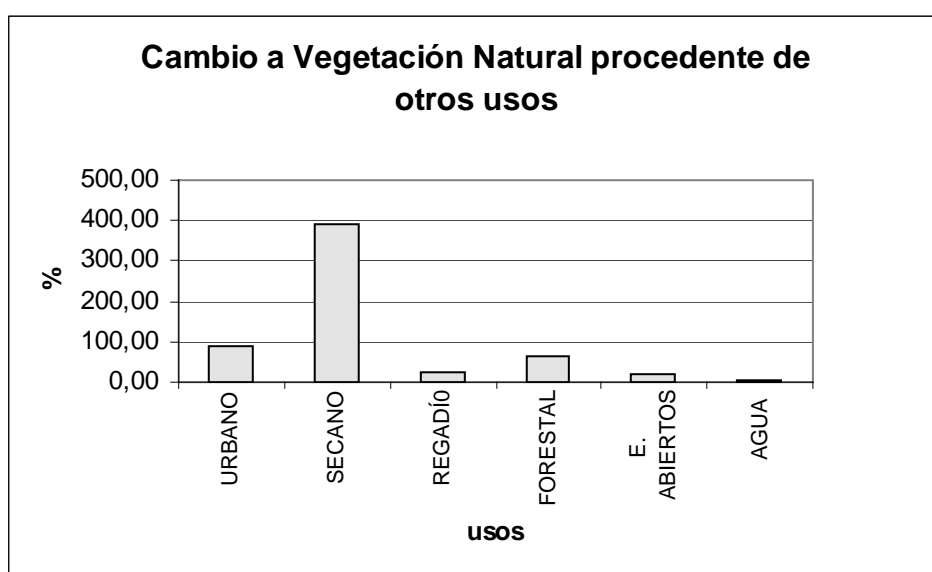
Gráfico N° 8: Cambio a forestal procedente de otros usos



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios a vegetación natural en las carreteras aparecen en el mapa n° 37 y en el gráfico n° 9. Estos cambios proceden mayoritariamente del secano (392,31%), en segundo lugar del urbano (89,32%) y forestal (66,16%), en tercer lugar de regadío (26,58%) y por último de los espacios abiertos (21,32%).

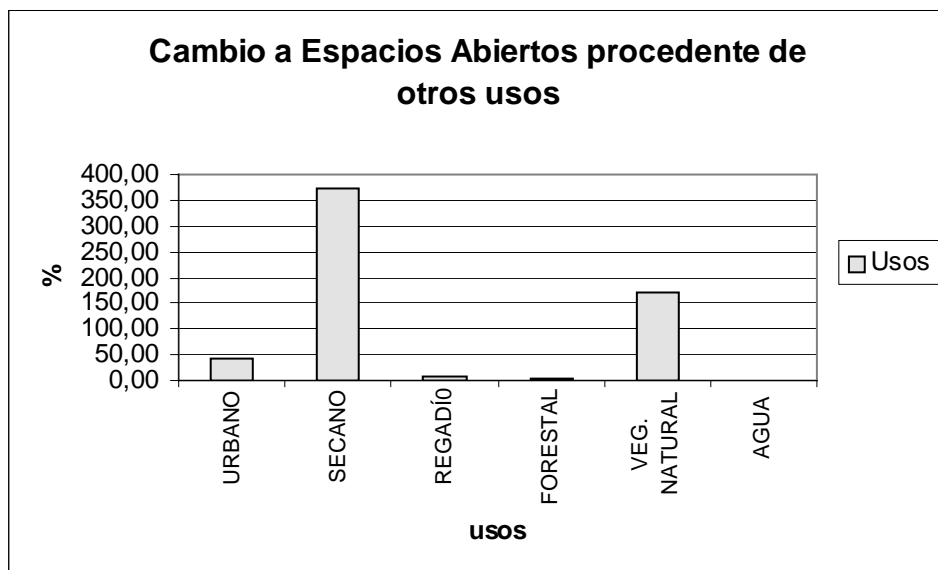
Gráfico N° 9: Cambio a vegetación natural procedente de otros usos



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios a espacios abiertos en las carreteras aparecen en el mapa n° 39 y en el gráfico n° 10. Estos cambios proceden del secano (371,76%) y en segundo lugar aunque con un porcentaje bastante menor de la vegetación natural (172,26%). Destacan también los cambios procedentes de urbano (41, 52%). El resto son insignificantes.

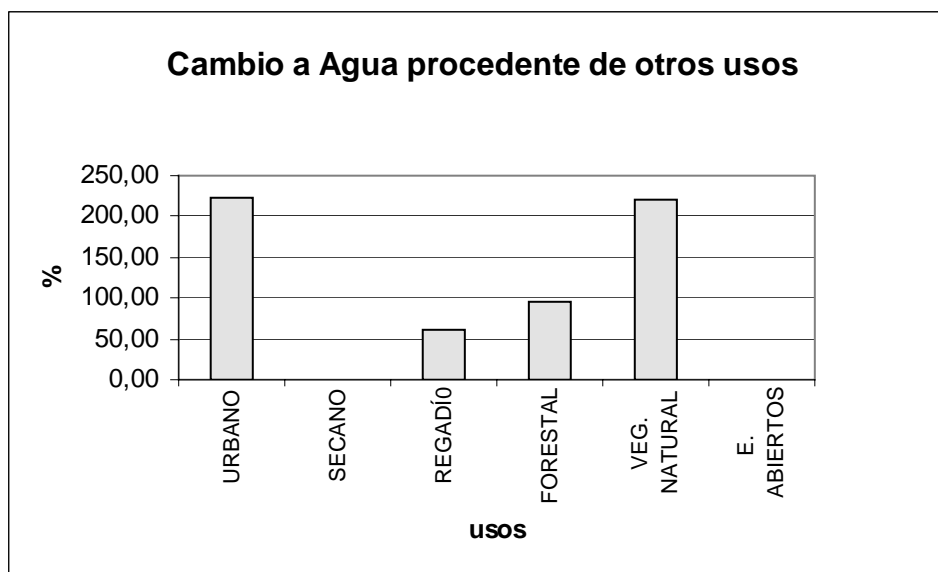
Gráfico N° 10: Cambio a espacios abiertos proveniente de otros usos



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios a agua en las carreteras aparecen en el mapa n° 41 y en el gráfico n° 11. Los pocos cambios que existen a agua son en todo momento procedentes de errores de la clasificación y de la diferencia de fechas de las imágenes. Dentro de estos cambios destacan los que proceden de urbano (222,76 %) y de vegetación natural (219,61%).

Gráfico N° 11: Cambio a agua proveniente de otros usos



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 22 Cambio medio y procedencia cambios

| CAMBIOS A URBANO | | | |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Coeficiente de Procedencia |
| 8 | Secano/Urbano | 45.384 | 283,69 |
| 15 | Regadío/Urbano | 3.069 | 19,18 |
| 22 | Forestal /Urbano | 4.699 | 29,37 |
| 29 | V Natural/Urbano | 42.328 | 264,59 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | 0,69 |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | 2,48 |
| TOTAL | | 95.987 | |
| CAMBIO MEDIO A URBANO | | 15997,83 | |
| | | | |
| CAMBIOS A SECANO | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Coeficiente de Procedencia |
| 2 | Urbano A Secano | 13.416 | 150,08 |
| 16 | Regadío A Secano | 8.585 | 96,03 |
| 23 | Forestal A Secano | 1.820 | 20,36 |
| 30 | VNatural A Secano | 29.488 | 329,86 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | 1,83 |
| 44 | Agua A Secano | 164 | 1,83 |
| TOTAL | | 53.637 | |
| CAMBIO MEDIO A SECANO | | 8939,50 | |
| | | | |
| CAMBIOS A REGADÍO | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Coeficiente de Procedencia |
| 6 | Urbano A Regadío | 1.045 | 58,82 |
| 13 | Secano/Regadío | 5.038 | 283,59 |
| 27 | Forestal A Regadío | 692 | 38,95 |
| 34 | VNatural A Regadío | 3.613 | 203,38 |
| 41 | EAbiertos A Regadío | 19 | 1,07 |
| 48 | Agua A Regadío | 252 | 14,19 |
| TOTAL | | 10.659 | |
| CAMBIO MEDIO A REGADÍO | | 1776,50 | |
| | | | |
| CAMBIOS A FORESTAL | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Coeficiente de Procedencia |
| 5 | Urbano A Forestal | 3.614 | 36,51 |
| 12 | Secano /Forestal | 8.238 | 83,21 |
| 19 | Regadío A Forestal | 454 | 4,59 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46.094 | 465,60 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | 7,46 |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | 2,63 |
| TOTAL | | 59.399 | |
| CAMBIO MEDIO A FORESTAL | | 9899,83 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| CAMBIOS A VEGETACIÓN NATURAL | | | |
|------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Coeficiente de Procedencia |
| 3 | Urbano A VNatural | 10.413 | 89,32 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45.735 | 392,31 |
| 17 | RegadíoA VNatural | 3.099 | 26,58 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7.713 | 66,16 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2.485 | 21,32 |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | 4,31 |
| | | | |
| TOTAL | | 69.948 | |
| CAMBIO MEDIO A VEGETACIÓN NATURAL | | 11658,00 | |
| | | | |
| CAMBIOS A ESPACIOS ABIERTOS | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Coeficiente de Procedencia |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 41,52 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6.921 | 371,76 |
| 18 | Regadío A EA | 162 | 8,70 |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 5,16 |
| 32 | VNatural A EA. | 3.207 | 172,26 |
| 46 | Agua A EA | 11 | 0,59 |
| | | | |
| TOTAL | | 11.170 | |
| CAMBIO MEDIO A EABIERTOS | | 1861,67 | |
| | | | |
| CAMBIOS A AGUA | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Coeficiente de Procedencia |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 222,76 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0,00 |
| 21 | Regadío A Agua | 59 | 61,99 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 95,62 |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | 219,61 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | 0,00 |
| TOTAL | | 571 | 0,19 |
| CAMBIO MEDIO A AGUA | | 95,17 | |

Fuente: Elaboración Propia

5. Conclusiones

En este apartado se ha establecido una metodología que permite la detección y la cuantificación de los cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid y también en torno a las carreteras objeto de estudio, en un periodo de tiempo determinado.

La interpretación de todos y cada uno de los cambios producidos en la Comunidad de Madrid es un trabajo muy complejo que requiere un análisis más detallado aparte de incluir un mayor número de variables, no tratadas en este trabajo. Por esta razón, las explicaciones de los cambios señaladas en este apartado (igual ocurrirá en apartados posteriores) son explicaciones parciales que nos ayudan a entender tendencias globales. En ningún caso vamos a detenernos en averiguar las causas específicas de cada uno de las transformaciones producidas en toda la Comunidad de Madrid en los diez años estudiados.

La metodología establecida contiene errores (algunos de los cambios detectados es imposible que se produzcan) derivados de las fuentes de información utilizadas, del procesamiento inadecuado realizado a algunas de las fuentes (trabajar con pixel de 200m en el caso de *Corine Land Cover*) y de las técnicas de clasificación automáticas disponibles en la actualidad que impiden clasificar correctamente espacios tan amplios como la Comunidad de Madrid.

En primer lugar, esta metodología nos ha permitido la detección, localización y cuantificación de forma precisa de la expansión del espacio urbano madrileño durante los diez años analizados; y en segundo lugar el estudio de los usos del suelo que se ven desfavorecidos (que desaparecen) como consecuencia de la extensión del espacio urbano; es decir, a costa de qué usos se propaga el uso urbano.

La consecuencia más evidente es el gran aumento experimentado por el espacio urbano en la Comunidad de Madrid a expensas del secano y de la vegetación natural (fundamentalmente pastizales). Estos nuevos espacios urbanos se encuentran localizados de forma mayoritaria en dos áreas:

1º En torno a las carreteras radiales. La ciudad de Madrid se extiende a lo largo de estas carreteras al igual que otros núcleos urbanos que comparten esta localización: Alcobendas, San Sebastián de los Reyes, Coslada, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henares, Arganda, Rivas-Vaciamadrid, Alcorcón, Móstoles, Pozuelo, Las Rozas, Villalba, etc.

2º En torno a las carreteras orbitales y a la intersección de estas con las carreteras radiales. Aunque en nuestro estudio no hemos estudiado específicamente los cambios de usos en torno a las carreteras orbitales (fundamentalmente M-40, M-50) éstos sí aparecen reflejados en nuestros mapas; es el caso de Montecarmelo, Sanchinarro, Carabanchel, Valdeberbardo, Bohadilla del Monte, del Parque empresarial Las Rozas (cruce de la M-50 con la carretera de La Coruña), Parque Lineal de Sur en torno a la M-50 (Arroyo Culebro), etc.

Los cambios que han tenido lugar en el espacio urbano madrileño han sido los mejor analizados por la metodología diseñada, pero esta misma metodología nos ha permitido igualmente (aunque no con el mismo grado de precisión) la detección, localización y cuantificación de otros cambios en los usos del suelo de la Comunidad de Madrid igualmente importantes (cambios en los secanos, regadíos, espacios forestales, etc.)

Hemos indicado anteriormente que la demostración y comprobación de estos cambios (fundamentalmente los urbanos) y por tanto la validez de la metodología desarrollada hasta ahora, es difícil de plasmar de forma gráfica en el desarrollo de este trabajo (se ha incluido alguna superposición gráfica que pueda corroborar al

menos en parte nuestras afirmaciones); sin embargo existen indicadores que ayudan a comprobar en parte la efectividad de la metodología. Uno de ellos es el índice de urbanización de los municipios desarrollado por J.M. García (2000).

Según este autor, el índice de urbanización es indicativo del estado de ocupación a que ha llevado la dinámica metropolitana de Madrid sobre su región y se expresa mediante una tasa acumulada de los valores normalizados de “densidad de población”, “establecimientos industriales” “establecimientos de comercio minoristas” y “número de oficinas bancarias”. J.M. García (2000) señala que los resultados fueron plasmados en un mapa municipal que resultó ser prácticamente idéntico al del área metropolitana funcional, lo cual verificaba la validez de esta tasa o índice de urbanización.

Los datos completos de este índice de urbanización nos han sido proporcionados por J.M. García y así hemos realizado el mapa nº 56 con el objetivo de compararlo con nuestros resultados.

Este mapa refleja que los valores más altos se corresponden lógicamente con el municipio de Madrid; un segundo nivel está ocupado por los municipios de Coslada, Torrejón de Ardoz, Alcalá de Henáres, Getafe, Leganés, Alcorcón, Fuenlabrada, Móstoles y Parla; un tercer nivel lo ocupa los municipios de Alcobendas, San Sebastián de los Reyes, San Fernando de Henáres, Mejorada del Campo, Arganda del Rey, Humanes, Las Rozas, Majadahonda, Pozuelo y Villalba; y finalmente el último nivel que corresponde a los municipios de Algete, Rivas Vaciamadrid, Pinto, Valdemoro, Aranjuez, Boadilla del Monte, Alpedrete, Torreldones y Colmenarejo.

La conclusión más importante es que este mapa, obtenido mediante la normalización de valores estadísticos, plasma básicamente los mismos resultados que hemos obtenido nosotros a través de los datos proporcionados por las imágenes de satélite; es decir, la metodología es válida. Las diferencias entre ambos mapas estriban en:

1. **Actualización.** El mapa obtenido a través de imágenes de satélite se puede actualizar en un tiempo menor (en función de la resolución temporal de las imágenes) que el mapa obtenido por las estadísticas oficiales (dependientes de las actualizaciones de censos y padrones).
2. **Coste económico.** Evidentemente la obtención de estos mapas actualmente resulta aún un proceso caro debido al elevado coste de las imágenes de satélite.
3. **Localización.** El mapa obtenido por la normalización de valores estadísticos no tiene en cuenta que el crecimiento de los municipios no es igual en todo el término municipal. Por el contrario, el mapa obtenido mediante imágenes de satélite localiza exactamente los espacios que están experimentando un crecimiento.

4.6. ANÁLISIS DE CAMBIOS INDIVIDUALIZADOS POR CARRETERAS.

El último aspecto que queremos analizar en este capítulo son los cambios que existen en cada una de las carreteras, para determinar la existencia o no de patrones de regularidad. Las fases para desarrollar este apartado son:

1. Análisis de la distribución total de los cambios por carretera.
2. Análisis de la distribución de los cambios globales uso a uso por carretera.
3. Análisis de la distribución de todos los cambios individualizados por carretera y tipo de cambio.
4. Conclusiones.

Todos estos análisis implican tener individualizados los *buffers* y los cambios para cada una de las carreteras; no es suficiente tener el fichero total del *buffer* y de cambios en todas carreteras. En apartados anteriores ya comentamos la necesidad de repetir este proceso para los ficheros totales y para los ficheros individualizados.

Las estadísticas individualizadas por carreteras aparecen en el Anexo estadístico y están compuestas por:

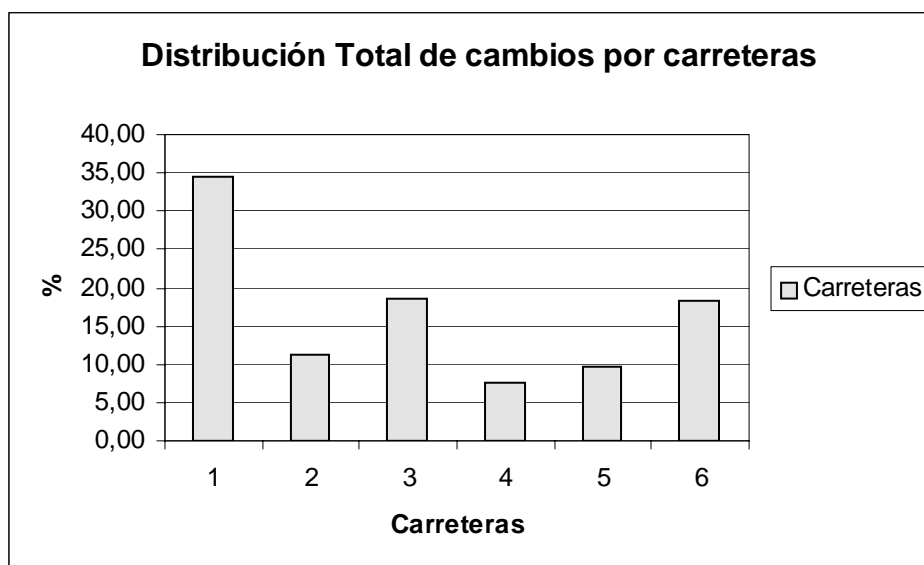
- Anexo 1: Evolución de usos del suelo en la carretera de Burgos 1987-1997.
- Anexo 2: Evolución de usos del suelo en la carretera de Barcelona 1987-1997.
- Anexo 3: Evolución de usos del suelo en la carretera de Valencia 1987-1997.
- Anexo 4: Evolución de usos del suelo en la carretera de Andalucía 1987-1997
- Anexo 5: Evolución de usos del suelo en la carretera de Extremadura 1987-1997.
- Anexo 6: Evolución de usos del suelo en la carretera de La Coruña 1987-1997

1. Análisis de la distribución total de los cambios por carretera.

El Anexo 7: “Cambios de usos del suelo en las carreteras (1987-1997)” es un resumen de los anexos individuales de las carreteras en el cual aparecen los cambios por carreteras expresados en porcentajes absolutos con respecto al total de cambios; es decir, cada cambio es un porcentaje del total de los cambios en las carreteras. Este anexo indica la distribución total de los cambios por carretera y carreteras (ejemplo: los cambios de secano a urbano en la carretera de La Coruña representan un 0,96% del total de cambios en todas las carreteras) también la distribución de los cambios globales a cada uso por carretera.

El análisis de la distribución total de los cambios por carreteras (gráfico nº 12) refleja que los cambios más importantes se han producido en la carretera de Burgos (34,58%), seguida por las carreteras de Valencia y La Coruña (18,49% y 18,39%) a continuación estaría la carretera de Barcelona (11,34%) y por último las carreteras de Extremadura y Andalucía con 9,56 % y 7,64 % respectivamente.

Gráfico N°12: Distribución total de cambios por carreteras



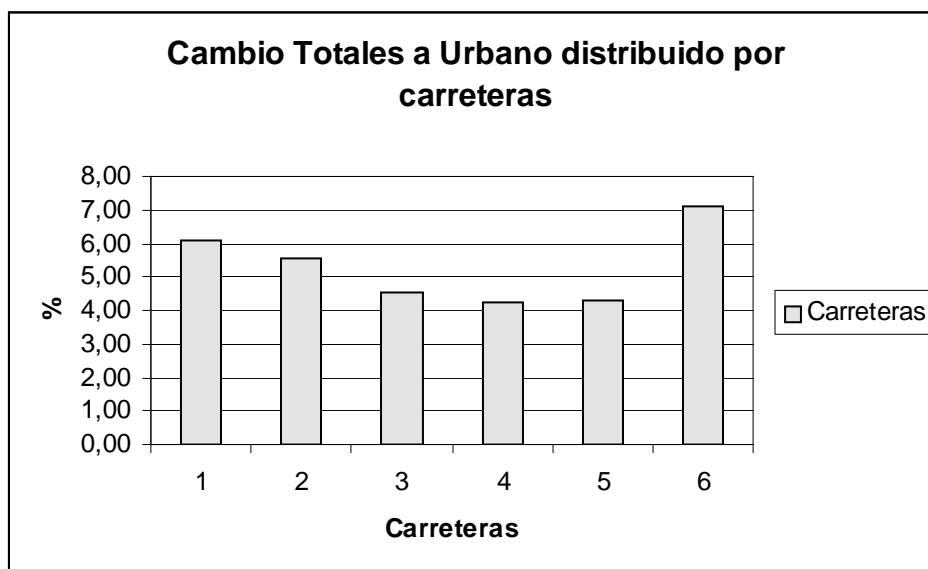
Fuente: Elaboración Propia

2. Análisis de la distribución de los cambios globales uso a uso por carretera.

El Anexo 7 indica también la distribución de los cambios globales uso a uso por carretera.

Los cambios totales experimentados a urbano aparecen en el gráfico nº 13. Este gráfico refleja que el cambio a urbano ha sido más fuerte en la carretera de La Coruña (7,08%) seguida por las carreteras de Burgos y Barcelona que experimentan un crecimiento similar (6,08% y 5,57% respectivamente) y en tercer lugar con crecimiento semejante están las carreteras de Valencia, Extremadura y Andalucía (4,55%, 4,33% y 4,25% respectivamente). Se observa que el crecimiento del uso urbano está distribuido de una forma relativamente homogénea en las diferentes carreteras.

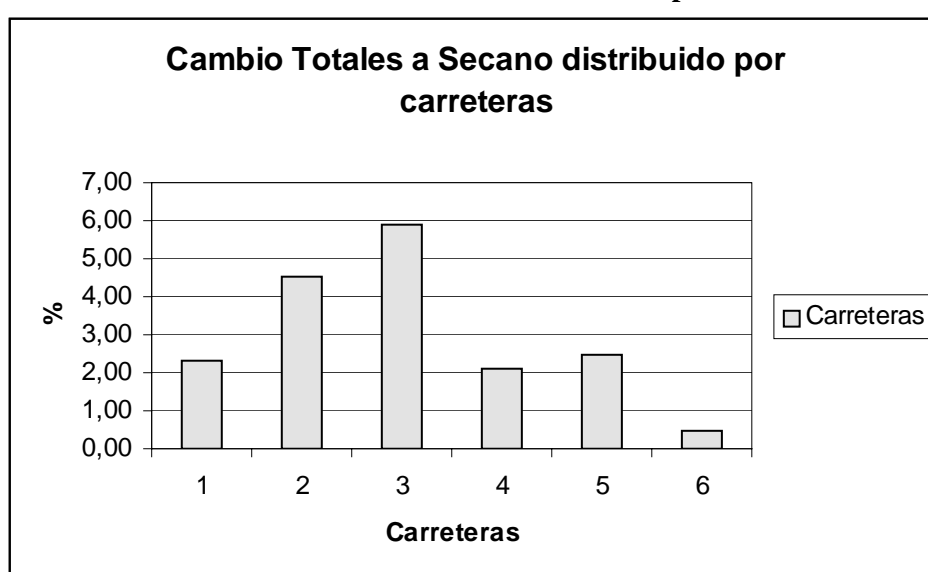
Gráfico Nº13: Cambios totales a urbano distribuidos por carreteras



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios totales experimentados a secano aparecen en el gráfico nº 14. Este gráfico refleja que en los cambios a secano la carretera de Valencia es la que experimenta un mayor crecimiento (5,9%), seguida por la carretera de Barcelona con un 4,54%; en tercer lugar estarían las carreteras de Andalucía, Burgos y Extremadura (2,46%, 2,33%, 2,13%) y en último lugar la carretera de La Coruña con 0,45%.

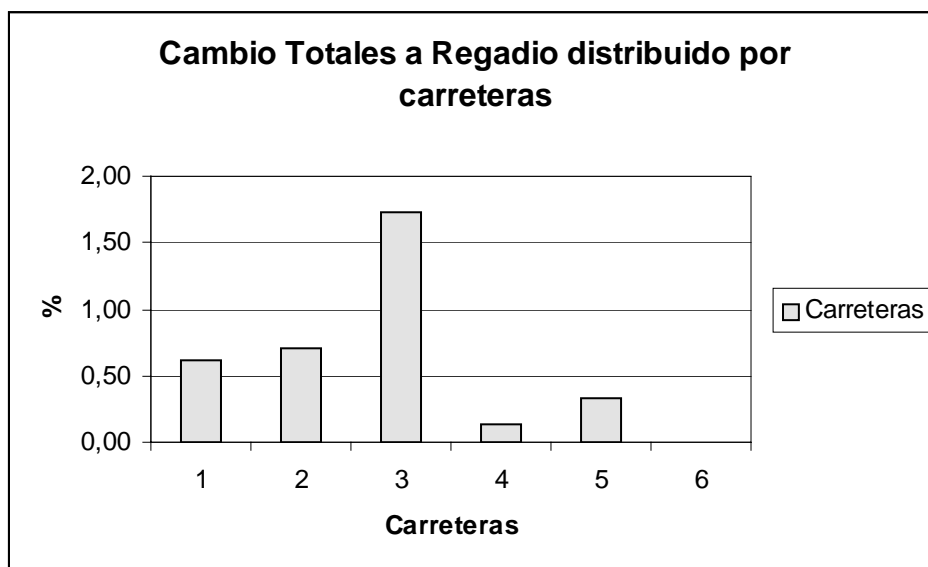
Gráfico Nº14: Cambios totales a secano distribuidos por carreteras



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios totales experimentados a regadío aparecen en el gráfico nº 15. Destaca en este cambio la carretera de Valencia con un cambio de 1,74%, seguida por un segundo grupo formado por las carreteras de Barcelona y Burgos (0,71% y 0,62%), a continuación estarían las carreteras de Extremadura y Andalucía (0,33% y 0,14%) y por último de La Coruña que no experimenta ningún cambio.

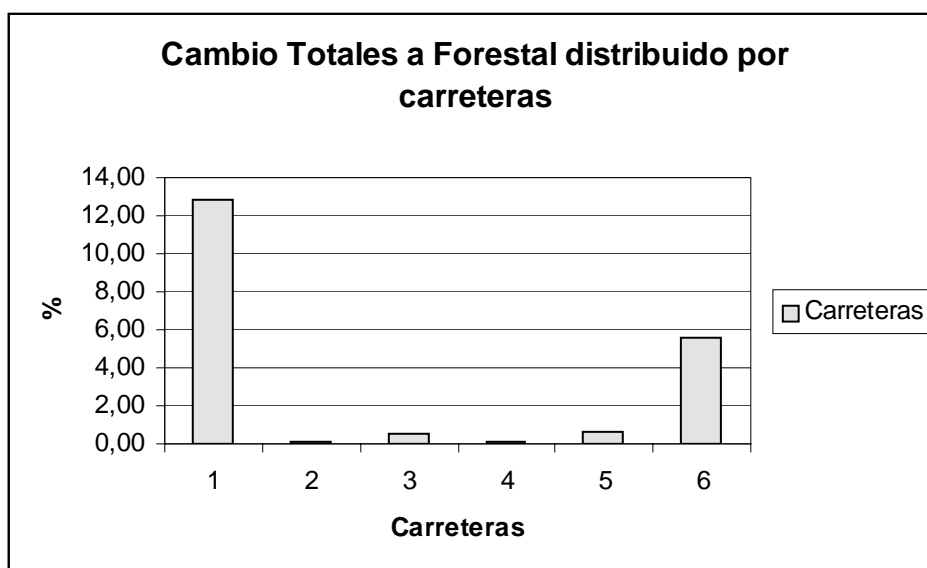
Gráfico Nº15: Cambios totales a regadío distribuidos por carreteras



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios totales experimentados a forestal aparecen en el gráfico nº 16. En este caso destaca ampliamente la carretera de Burgos con un 12,79%; la carretera de La Coruña estaría en segundo lugar con un crecimiento bastante inferior 5,54% y en el resto de las carreteras el cambio a forestal es insignificante con porcentajes que en el caso más elevado (carretera de Extremadura) están en torno al 0,6%.

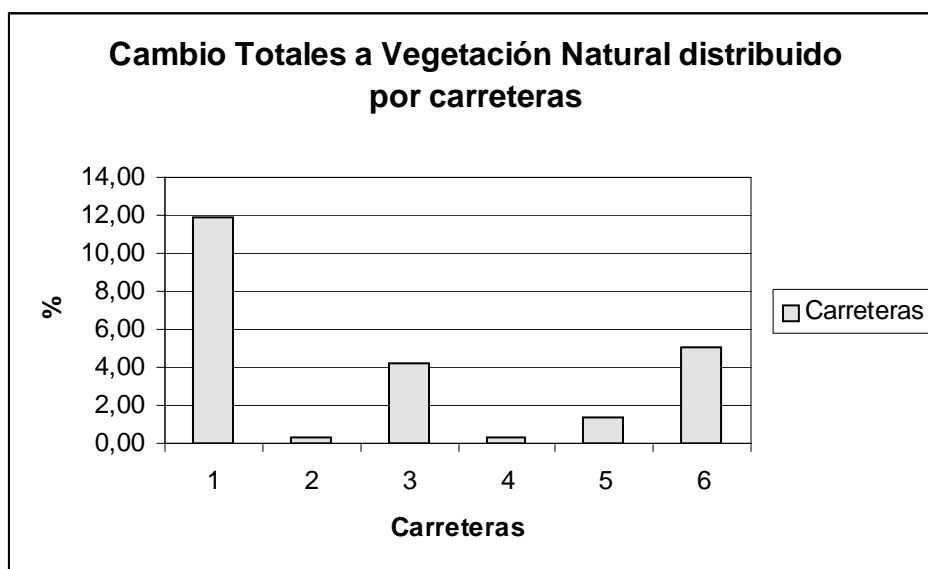
Gráfico Nº 16: Cambios totales a forestal distribuidos por carreteras



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios totales experimentados a vegetación natural aparecen en el gráfico nº 17. Al igual que en el cambio a Forestal el crecimiento mayor está experimentado por la carretera de Burgos (11,85%) seguido por la de La Coruña 5,10%. A diferencia del caso anterior en el cual el resto de las carreteras experimentaban crecimientos similares, en el cambio a vegetación natural destaca en tercer lugar la carretera de Valencia con un 1,48%, en el resto de las carreteras los cambios son poco significativos.

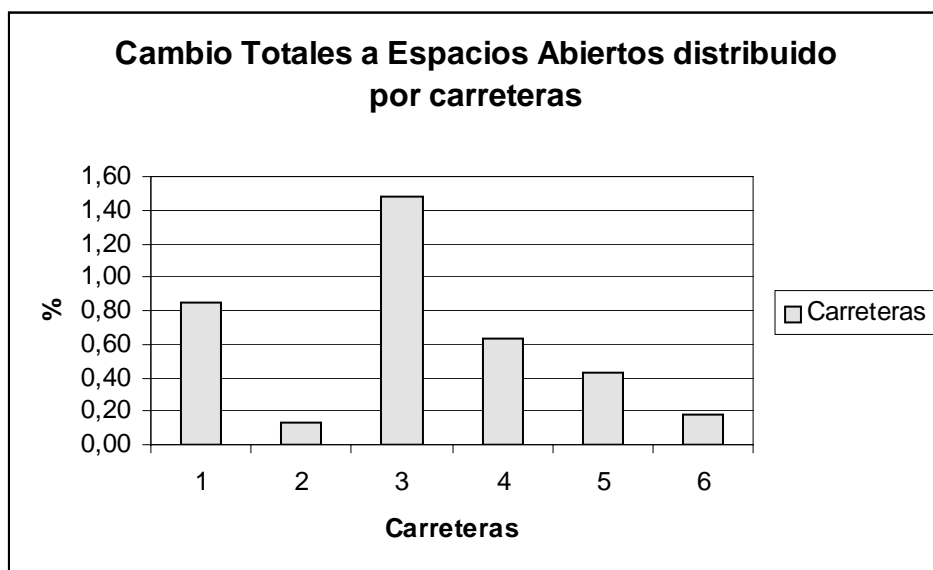
Gráfico Nº 17: Cambios totales a vegetación natural distribuidos por carreteras



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios totales experimentados a espacios abiertos aparecen en el gráfico nº 18. En este caso las cifras de cambio son muy poco significativas destacando la carretera de Valencia con un 1,48%, en segundo lugar la de Burgos y Andalucía (0,85% y 0,63%). En el resto los porcentajes no superan el 0,5%.

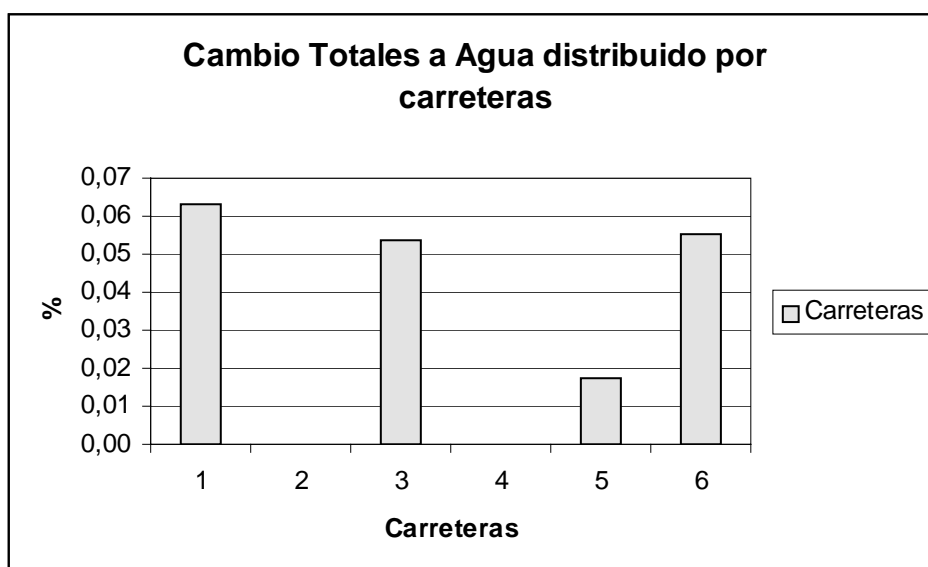
Gráfico N° 18: Cambios totales a espacios abiertos distribuidos por carreteras



Fuente: Elaboración Propia

Los cambios totales experimentados a agua aparecen en el gráfico n° 19. Evidentemente no pueden producirse cambios a agua en las carreteras; aparecen porcentajes muy pequeños que sin duda son resultado del cambio de tamaño del pixel como comentamos anteriormente en los cambios a agua en el total de la Comunidad de Madrid.

Gráfico N° 19: Cambios totales a agua distribuidos por carreteras



Fuente: Elaboración Propia

3. Análisis de la distribución de todos los cambios individualizados por carretera y tipo de cambio.

El último punto que vamos a analizar es la distribución de cambios individualizada por carretera y por cambio; es decir, la explicación y la localización del tipo de cambio predomina en cada carretera. Para desarrollar este punto nos hemos basado en el Anexo 7 y además hemos generado unos coeficientes que son:

- Anexo 8: “Procedencia de cambios 1”. Esta tabla se ha generado teniendo en cuenta que el total de pixels que cambian a cada uso para el total de las carreteras es 100 (ejemplo: total pixels que cambian de secano a urbano para el conjunto de las carreteras, total de pixels que cambian de regadío a urbano y así sucesivamente con todos los cambios). A partir de aquí, se genera un primer coeficiente de cambio (1CC) que expresa en qué carretera ha sido mayor cada uno de los cambios; es decir, cada grupo de cambios es un conjunto para las carreteras; ejemplo: los cambios de secano a urbano en todas las carreteras es 100, los cambios de secano a urbano en la carretera de La Coruña representan un 6,44% de todas las carreteras.
- Anexo 9: “Procedencia de cambios 2”. Esta tabla se ha generado estableciendo el cambio medio en cada uno de los posibles cambios (ejemplo: cambio medio a urbano procedente de secano, procedente de regadío, de forestal, etc. y así sucesivamente con todos los posibles cambios). Este cambio medio se calcula teniendo en cuenta el número de pixels que varían en cada posible cambio para el total de las carreteras y dividiendo esta cantidad entre 6 que es el número de carreteras: por ejemplo, el total de pixels que cambian de secano a urbano son 45.384; el cambio medio es $45.384/6 = 7564$. Teniendo en cuenta que el cambio medio es 100, se establece un segundo coeficiente de cambio (2CC) para determinar a qué uso ha sido

mayor el cambio. Los cambios medios se han representado fuera del Anexo 9 con objeto de simplificar la lectura y aparecen reflejados en los Anexos 9-1, 9-2, 9-3, 9-4, 9-5, 9-6, 9-7.

- Anexo10:” Procedencia de cambio 3”. Esta tabla se ha generado teniendo en cuenta el cambio medio a cada uso en cada una de las carreteras (ejemplo: cambio medio a urbano, seco, regadío, etc. en las carreteras). En este caso este cambio medio se ha calculado en función del número total de pixels que cambian a urbano y dividiendo entre 36, seis carreteras y seis posibles usos de los que proceden los cambios; por ejemplo: el total de pixels que cambian a urbano procedentes de cualquier otro uso son 95.987; el cambio medio es $95.987/36 = 2666,31$. Teniendo en cuenta que el cambio medio es 100 se establece un tercer coeficiente de cambio (3CC) para determinar a que carretera y uso ha sido mayor el cambio.

En principio pensamos que podrían existir diferencias entre los diferentes coeficientes establecidos, pero finalmente comprobamos que los resultados obtenidos para todos ellos eran similares, no encontrando ninguna irregularidad en los análisis realizados. Por ello, decidimos comentar detalladamente los resultados del Anexo 10 “Procedencia de cambio 3”. La razón de elegir este anexo correspondiente al tercer coeficiente de cambio (3CC) es porque este coeficiente tiene en cuenta tanto las seis carreteras y los seis posibles usos de los que proceden los diferentes cambios.

La procedencia de cada uno de los cambios se va a analizar individualmente para cada cambio a urbano, seco, regadío, forestal, vegetación natural, espacios abiertos y agua. Para ello, se han realizado una serie de gráficos en los cuales hemos intentado mantener la misma escala en el eje de la “y”, es decir en los valores. Únicamente hemos variado la escala cuando los valores eran muy altos; esto ocurre en la menor parte de los casos. Si adaptábamos la escala a los valores superiores la mayor parte de los datos no quedaba bien representada.

LOS CAMBIOS A URBANO EN LAS CARRETERAS aparecen en el mapa nº 29. Teniendo en cuenta los porcentajes absolutos estos cambios están distribuidos de la siguiente forma (ver tabla nº 17): secano en un 15,09%, regadío en un 1,01%, forestal en un 1,5%, vegetación natural en un 14,04 %, espacios abiertos en un 0,03666%, agua en un 0,13%.

El cambio medio a urbano en las carreteras (Anexo 10) es de 2666,31. Estos cambios proceden de:

1. Cambios de secano a urbano (gráfico nº 20)

El cambio de secano a urbano está bastante equilibrado en todas las carreteras excepto en la de La Coruña. Existe un primer grupo de carreteras en las que el cambio es mayor: carreteras de Barcelona (401,75%), carretera de Burgos (367,51%) y carretera de Valencia (313,02%). Un segundo grupo está formado por las carreteras de Extremadura y Andalucía (277,31%, 232,98%) y por último está la carretera de La Coruña (109,55%).

Los cambios en la carretera de Barcelona se corresponden con la extensión del municipio de Coslada, Torrejón de Ardoz , San Fernando de Henares y toda la extensión de Alcalá de Henares.

Los cambios en la carretera de Burgos en la parte más cercana a Madrid se corresponden con la extensión de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes. Más al Norte se encuentran las extensiones de Ciudalcampo, Valdelagua y San Agustín de Guadalix. Todos los pequeños puntos que aparecen en el mapa, como cambios a secano, se corresponden con la extensión de los núcleos urbanos de Pedrezuela, Venturada, Cabanillas de la Sierra, y parte de la Cabrera, aunque en este último predominen más los cambios procedentes de vegetación natural.

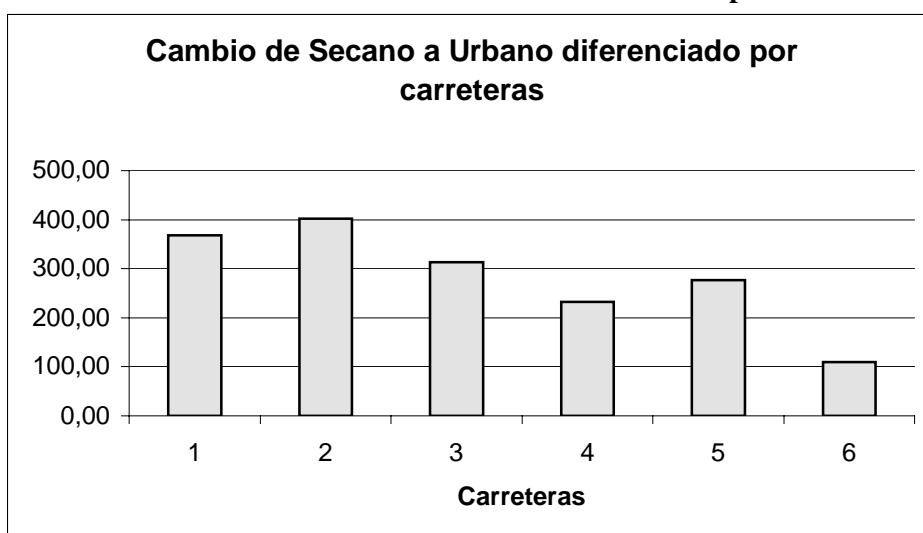
Los cambios en la carretera de Valencia se corresponden con la extensión de Vicalvaro, Valdebernardo y Vallecas, Rivas Vaciamadrid, polígono industrial de Arganda del Rey y el propio Arganda del Rey, Villarejo de Salvanés y Fuentidueña de Tajo.

Los cambios en la carretera de Extremadura se corresponden con la extensión de Alcorcón y Móstoles, las áreas comerciales desarrolladas en torno a estos núcleos y el núcleo urbano de Navalcarnero.

Los cambios en la carretera de Andalucía se corresponden con las nuevas áreas comerciales desarrolladas entre Getafe y Pinto y la extensión de los núcleos urbanos de Pinto y Valdemoro.

La carretera de La Coruña prácticamente no experimenta cambios procedentes del secano; los pocos que existen se corresponden con el final de La Florida y parte del municipio de Guadarrama.

Gráfico N° 20: Cambios de secano a urbano diferenciado por carreteras.

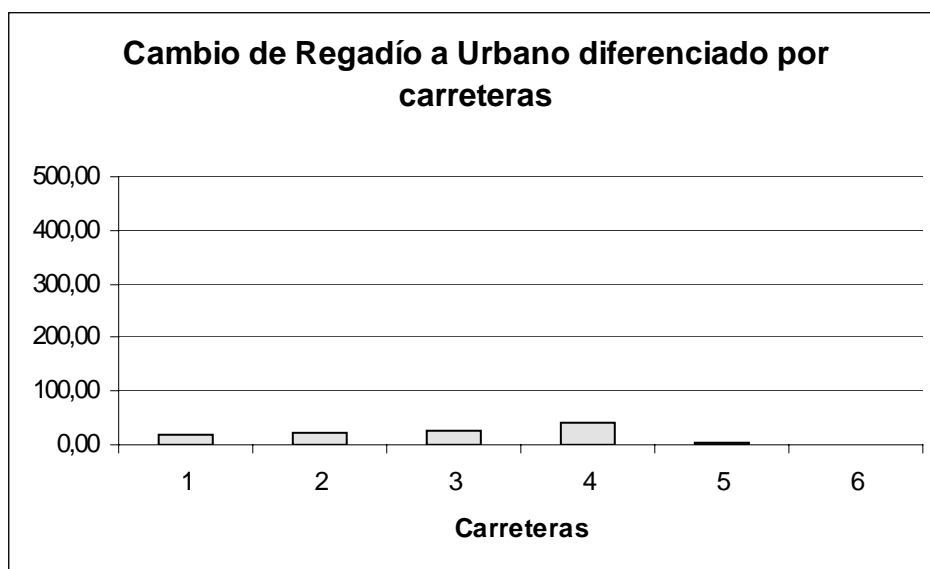


Fuente: Elaboración propia.

2. Cambios de regadío a urbano (gráfico nº 21)

Los cambios de regadío a urbano son muy poco significativos y no están equilibrados por carreteras; destaca la carretera de Andalucía con un 41,37%, un segundo grupo es el formado por las carreteras de Valencia, Barcelona y Burgos (27,49%, 21,53% y 19,39%) y por último las de Extremadura con un porcentaje muy pequeño (5,33%) y la de La Coruña en la cual no se aprecian cambios de este tipo.

Gráfico Nº 21: Cambios de regadío a urbano diferenciado por carreteras



Fuente: Elaboración propia.

Los cambios en la carretera de Andalucía coinciden algunas huertas abandonadas sustituidas por los nuevos centros comerciales surgidos entre Getafe y Pinto. Aparece también un cambio en esta carretera que está localizado al sur de la estación del Abroñigal; en este caso es muy posible que se deba a un error del mapa *Corine Land Cover* de 1987.

En la carretera de Valencia estos cambios coinciden con la vega del Jarama en torno a los municipios de Rivas Vaciamadrid, Arganda y Perales de Tajuña.

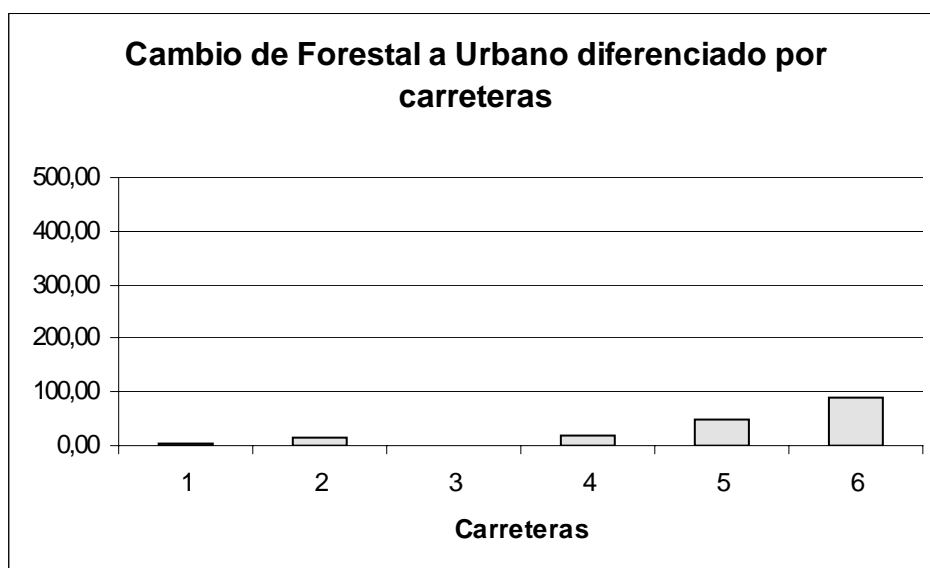
En la carretera de Barcelona estos cambios se localizan en torno al Henares en el municipio de Alcalá de Henares.

Por último en la carretera de Burgos coinciden con el río Jarama en torno a Valdelaguay Ciudadcampo.

3. Cambios de forestal a urbano (gráfico nº 22)

En este caso, al igual que ocurre con los cambios procedentes de regadío, primero no existen prácticamente cambios y segundo tampoco existe ningún equilibrio en el cambio de forestal a urbano en las diferentes carreteras. Este cambio predomina mayoritariamente en las carreteras de La Coruña (89,52%) y en la de Extremadura (49,09%), un cambio bastante inferior procede de las carreteras de Andalucía y Burgos (17,66% y 16,09%) siendo en el resto inapreciable.

Gráfico N° 22: Cambios de forestal a urbano diferenciado por carreteras.

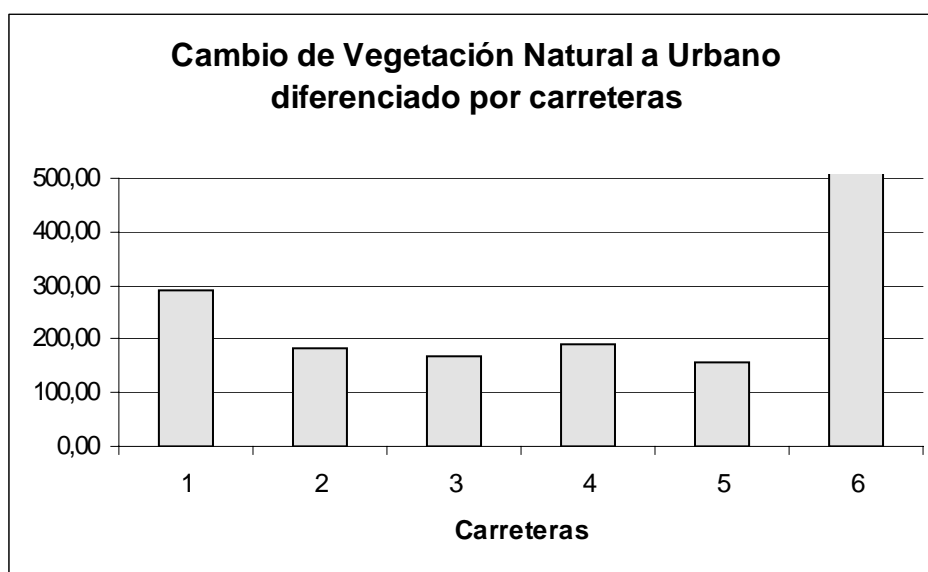


Fuente: Elaboración propia.

4. Cambios de vegetación natural a urbano (gráfico nº 23).

Los cambios de vegetación natural a urbano son los más abundantes. En este cambio destaca enormemente la carretera de La Coruña (597,64%). En el resto de las carreteras el cambio está distribuido de manera bastante homogénea.

Gráfico Nº 23: Cambios de vegetación natural a urbano diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

Los cambios en la carretera de La Coruña son procedentes de otros pastizales. Únicamente en las proximidades de Torreldones aparecen cambios derivados de matorral boscoso en transición. Los cambios de vegetación natural en la carretera de La Coruña coinciden con la extensión urbana de Aravaca, La Florida, Las Matas, Torreldones, Collado Villalba y Guadarrama.

Los cambios en la carretera de Burgos también proceden de otros pastizales, excepto en las proximidades de la Cabrera que proceden de matorral subarborescente o arbustivo poco denso. La localización de los cambios coincide en las proximidades a Madrid con El Encinar de los Reyes, La Moraleja y el Soto. Hacia el norte aparecen grupos pequeños de pixels de este tipo de cambios que coinciden con la extensión de los núcleos urbanos de El Molar, La Cabrera, Lozoyuela, Buitrago de Lozoya y Somosierra.

Los cambios en la carretera de Andalucía se derivan de otros pastizales y están localizados al sur de Valdemoro. El otro cambio importante de este tipo que aparece en esta carretera es un error del *Corine Land Cover* de 1987 porque coincide con la zonal del depósito del canal de Isabel II y el borde de la estación Abroñigal.

En la carretera de Barcelona también los cambios a urbano proceden de otros pastizales y se sitúan al este del Parque Conde de Orgaz y borde de Suances, Quinta de los Molinos, Torres Arias, etc. y en Alcalá de Henares aunque en menor medida.

Igual ocurre con los cambios en las carreteras de Valencia y Extremadura, localizados en torno a Covivar, Pablo Iglesias y toda la zona de las yeserías en la primera y en torno a Aluche y bordes aeropuerto Cuatro Vientos y Parque Coimbra en la segunda.

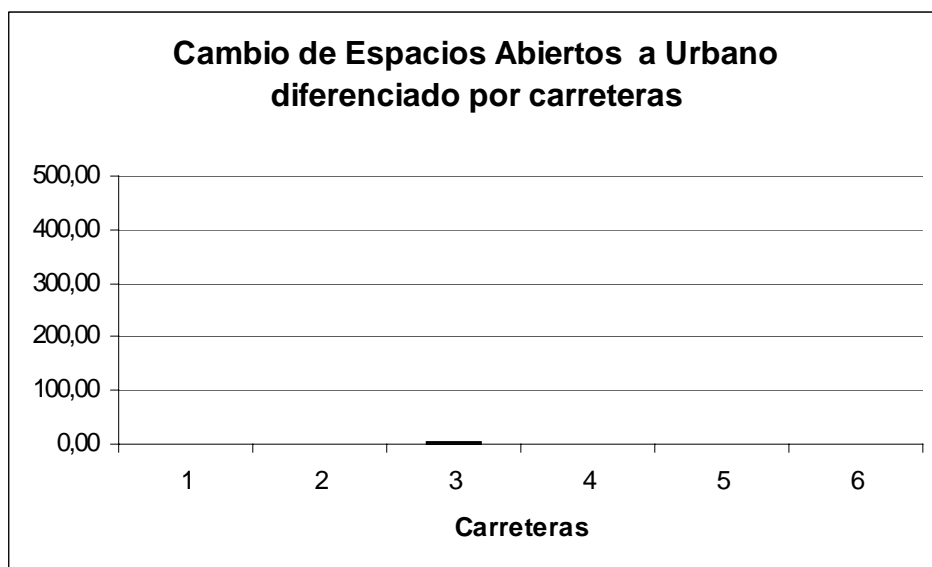
5. Cambios de espacios abiertos a urbano (gráfico nº 24)

El cambio de espacios abiertos a urbano, significa un porcentaje muy pequeño del total de cambios y aparece concentrado exclusivamente en las carreteras de Valencia y Burgos (2,36% y 1,76%).

6. Cambios de agua a urbano (gráfico nº 25).

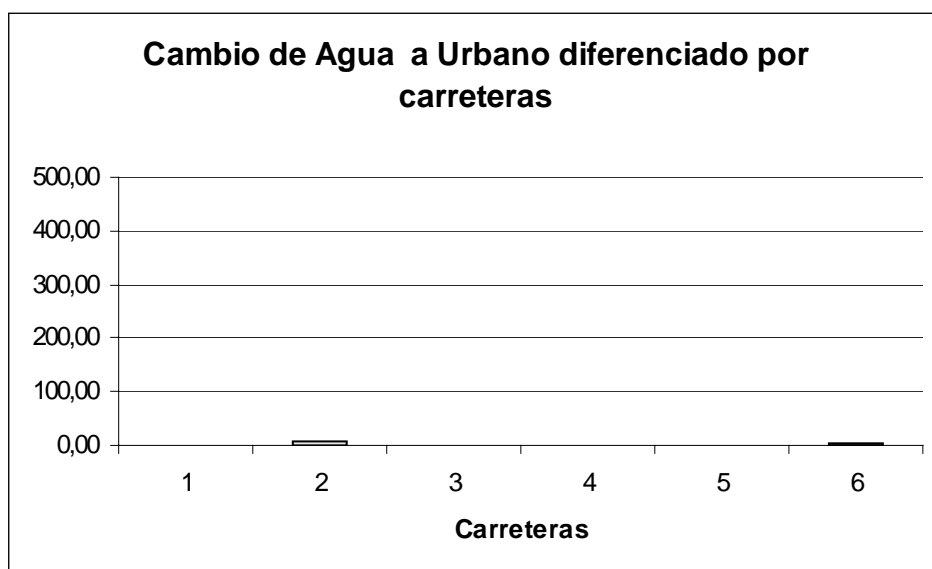
En este caso los resultados son errores de la clasificación y aparecen concentrados estos cambios en las carreteras de Burgos y La Coruña.

Gráfico N° 24: Cambios de espacios abiertos a urbano diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 25: Cambios de agua a urbano diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

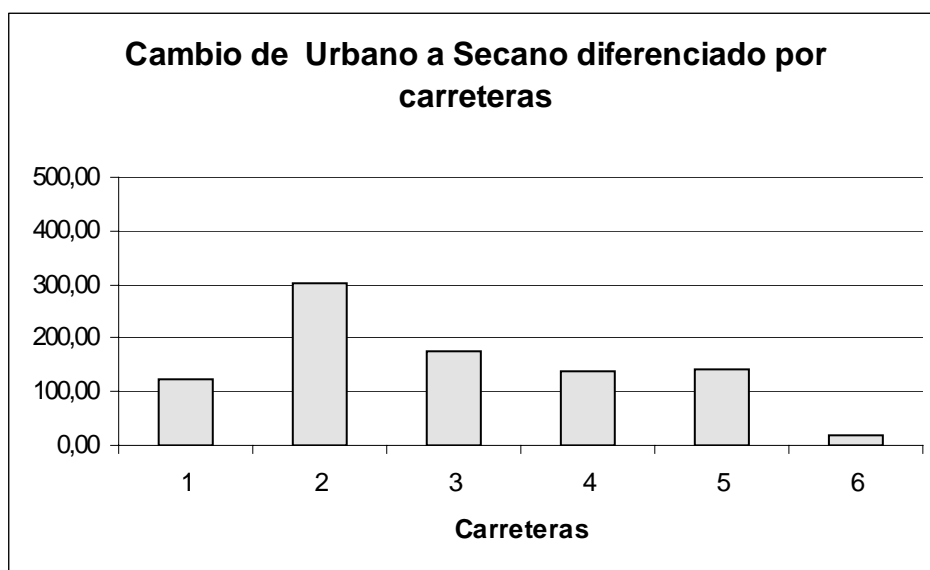
LOS CAMBIOS A SECANO EN LAS CARRETERAS aparecen en el mapa nº 31. Teniendo en cuenta los porcentajes absolutos, estos cambios están distribuidos de la siguiente forma (ver tabla nº 17): urbano en un 2,45%, regadío en un 2,84%, forestal en un 0,60%, vegetación natural en un 9,7 %, espacios abiertos en un 0,05%, agua en un 0,05%.

El cambio medio a secano en las carreteras (Anexo 10) es de 1489,92 Estos cambios proceden de:

1. Cambios de urbano a secano (gráfico nº 26)

El cambio de urbano a secano aparece bastante destacado en la carretera de Barcelona (300,55%). En el resto de las carreteras este cambio está repartido de manera bastante homogénea carretera de Valencia (175,71%), Extremadura (141,01%), Andalucía (139,40%) y Burgos (123,43%). En la carretera de La Coruña prácticamente es poco significativo (20,34%).

Gráfico N° 26: Cambios de urbano a secano diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

Los cambios de urbano a seco en la carretera de Barcelona proceden de áreas industriales y fundamentalmente de los aeropuertos de Barajas y Torrejón. La explicación está en la diferencia entre la fotointerpretación basada en imágenes LANDSAT TM (usos del suelo del año 1987) e imágenes IRS 1C. La imagen LANDSAT TM, tiene menos precisión y por tanto los espacios que se detectan son más amplios; de aquí que muestre que han desaparecido espacios urbanos a favor del seco en esta carretera. Lo mismo ocurre con las zonas de los aeropuertos.

Los cambios en la carretera de Valencia se deben en parte, al factor anteriormente señalado, para la carretera de Barcelona y también al abandono de las zonas de extracción; estas zonas dependiendo de la fecha de abandono aparecen como secos o como veremos posteriormente como vegetación natural. Evidentemente no son secos pero la respuesta espectral es similar y de ahí que la clasificación automática determine estas zonas como secos.

En las carreteras de Extremadura, Andalucía y Burgos los pocos cambios existentes de este tipo se deben a las razones explicadas para la carretera de Barcelona.

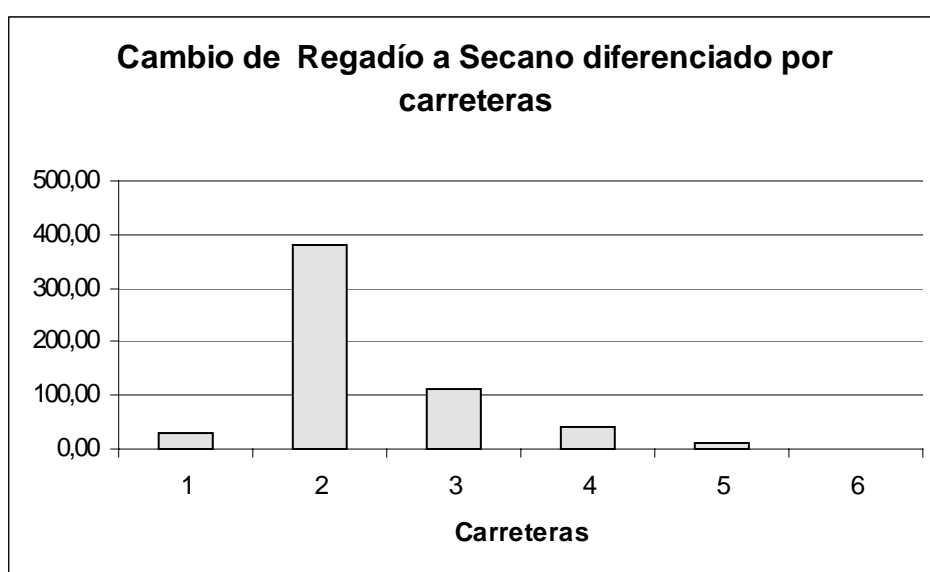
2. Cambios de regadío a seco (gráfico nº 27)

El cambio de regadío a seco aparece concentrado básicamente en la carretera de Barcelona (380,02%), en segundo lugar pero con bastante diferencia está la carretera de Valencia (113,70%), y un tercer grupo con cambios menos significativos lo ocupan las carreteras de Andalucía, Burgos y Extremadura. En la carretera de La Coruña, no se observan cambios de este tipo.

Los cambios de regadío a seco en la carretera de Barcelona se localizan básicamente en dos áreas: el final del término municipal de Alcalá de Henares y el borde del río Jarama a su paso por el término de San Fernando de Henares. El

origen de estos cambios se debe en primer lugar a la fecha de la imagen (algunos regadíos no salen en esta zona) y segundo a que son zonas muy cercanas a espacios que se están construyendo; por esa razón, se están abandonando los regadíos y aunque no se transformen en seco, la respuesta espectral que dan es similar a estos. La explicación es la misma en el caso de las carreteras de Valencia y Andalucía.

Gráfico N° 27: Cambios de regadío a seco diferenciado por carreteras.

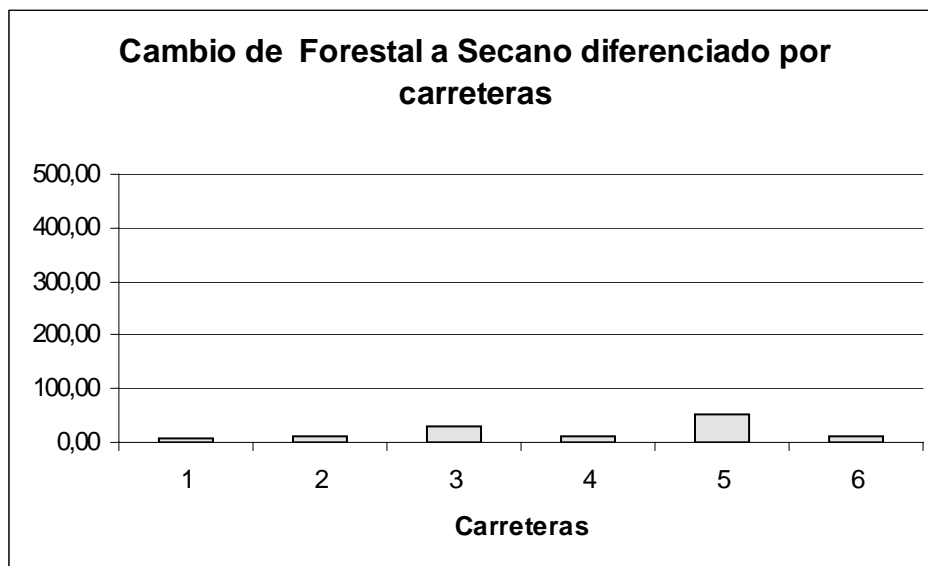


Fuente: Elaboración propia

3. Cambios de forestal a seco (gráfico n° 28)

Estos cambios son insignificantes en las carreteras y derivan mayoritariamente de errores. Los cambios de forestal a seco aparecen concentrados en las carreteras de Extremadura de forma mayoritaria (52,35%) y Valencia (30,54%); en el resto de las carreteras estos cambios se distribuyen homogéneamente.

Gráfico N° 28: Cambios de forestal a secano diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

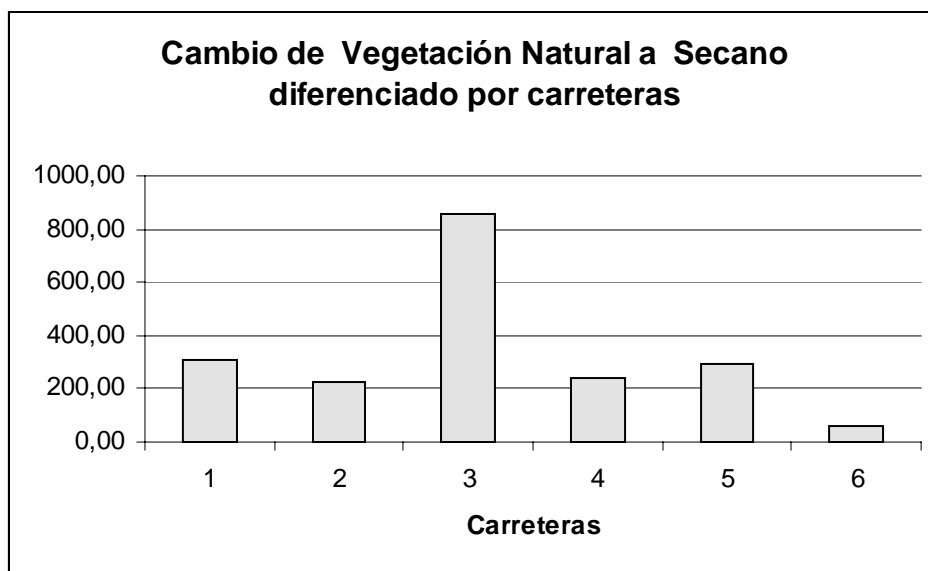
4. Cambios de vegetación natural a secano (gráfico n° 29).

Estos cambios son los más abundantes y por ello hemos cambiado la escala de representación. El cambio de vegetación natural a Secano es bastante destacado en la carretera de Valencia (853,40%); en el resto de las carreteras exceptuando la de La Coruña (60,88%) este cambio se distribuye homogéneamente.

Los cambios procedentes de vegetación natural en la carretera de Valencia proceden de otros pastizales hasta aproximadamente el término municipal de Arganda del Rey y al final de esta carretera en torno a los municipios de Villarejo de Salvanes y Fuentidueña de Tajo. Estas zonas se localizan muy próximas a espacios contruidos o en proceso de construcción; por ello aunque actualmente no sean secanos, la respuesta espectral que dan es muy similar a éstos. Otro tipo de cambios procedentes de vegetación natural derivan de matorral subarbusitivo o arbustivo poco denso; estos aparecen localizados entre los municipios de

Arganda del Rey y Perales de Tajuña y al igual que en el caso anterior se localizan próximos a espacios industriales o espacios construidos

Gráfico N° 29: Cambios de vegetación natural a secano diferenciado por carreteras.



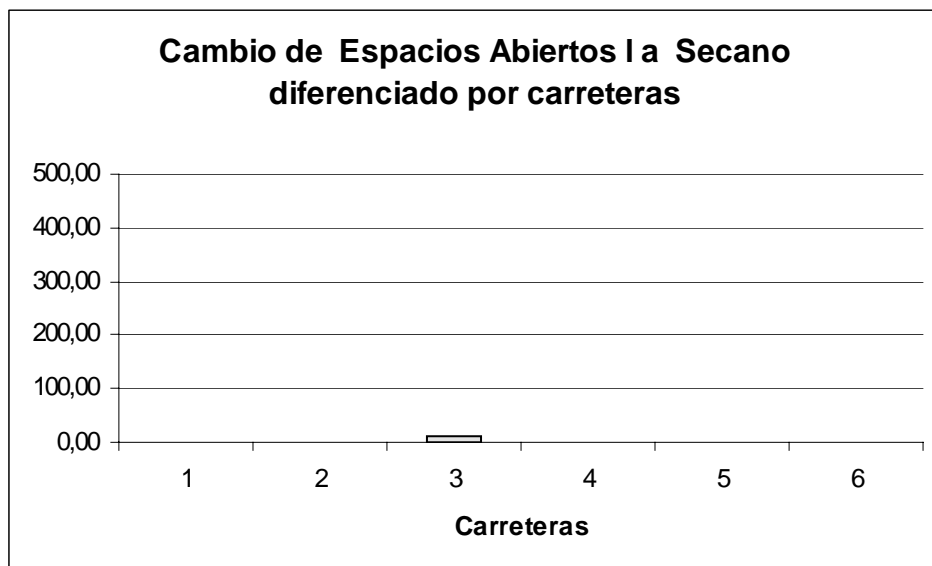
Fuente: Elaboración propia

En el resto de las carreteras los cambios a secano derivan de otros pastizales y también se encuentran muy próximos a núcleos urbanos, constituyendo por tanto las zonas de expansión de éstos. En la carretera de Extremadura se localizan en torno a Alcorcón y en el Parque Coimbra. En la carretera de Burgos en torno a Alcobendas, al Encinar de los Reyes, La Moraleja, Fuente del Freno y más al norte de Valdelagua. En la carretera de Andalucía en Pinto y Valdemoro. Por último en la carretera de Barcelona, se encuentran localizados en torno a Alcalá de Henares.

5. Cambios de espacios abiertos a secano (gráfico n° 30)

Éstos son prácticamente insignificantes y aparecen concentrados casi de forma unitaria en la carretera de Valencia (9,80%).

Gráfico N° 30: Cambios de espacios abiertos a secano diferenciado por carreteras.

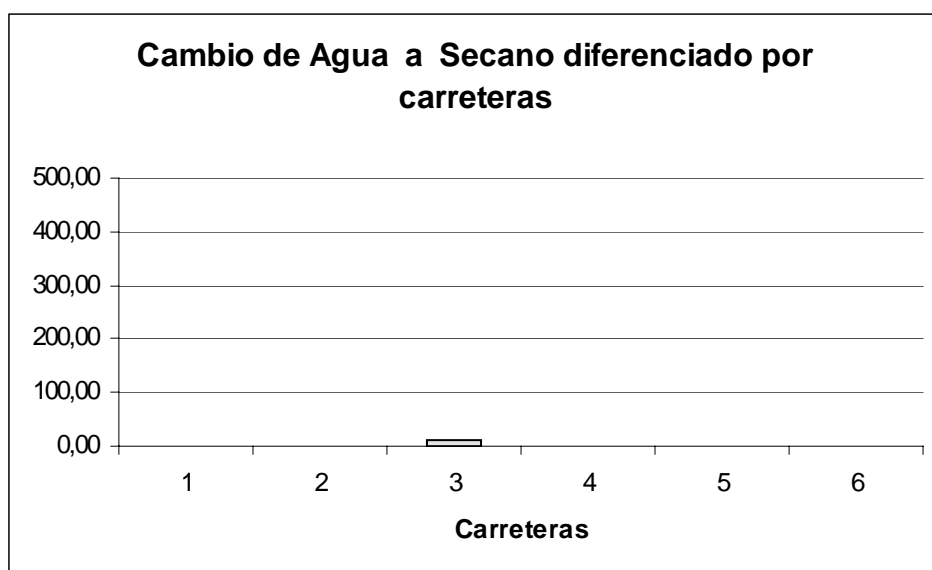


Fuente: Elaboración propia

6. Cambios de espacios abiertos a agua (gráfico n° 31)

Al igual que ocurre en el caso anterior son insignificantes procediendo de errores y como en los cambios de Espacios abiertos a Secano, aparecen concentrados casi exclusivamente en la carretera de Valencia (10,27%).

Gráfico N° 31: Cambios de agua a secano diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

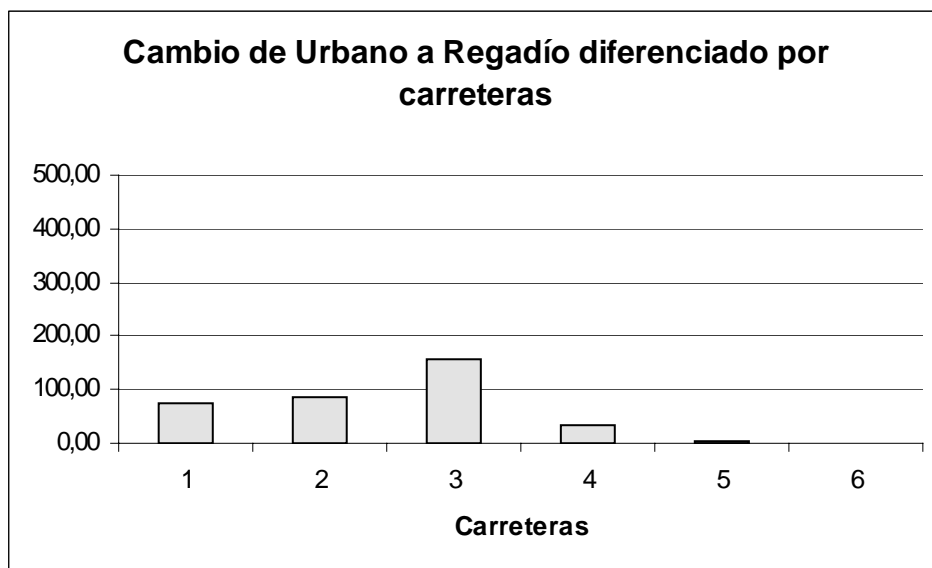
LOS CAMBIOS A REGADÍO EN LAS CARRETERAS aparecen en el mapa nº 33. Teniendo en cuenta los porcentajes absolutos, están distribuidos de la siguiente forma (ver tabla nº 17): urbano en un 0,3%, secano en un 1,67%, forestal en un 0,23%, vegetación natural en un 1,19 %, espacios abiertos en un 0,006%, agua en un 0,08%

El cambio medio a regadío en las carreteras (Anexo 10) es de 296. Estos cambios son prácticamente insignificantes en el conjunto de las carreteras y proceden de:

1. Cambios de urbano a regadío (gráfico nº 32).

El cambio de urbano a regadío aparece de forma destacada en la carretera de Valencia (156,08%). El resto se reparten de forma equilibrada entre las carreteras de Barcelona (86,15%), Burgos (73,65%) y Extremadura (35,14%).

Gráfico Nº 32: Cambios de urbano a regadío diferenciado por carreteras.



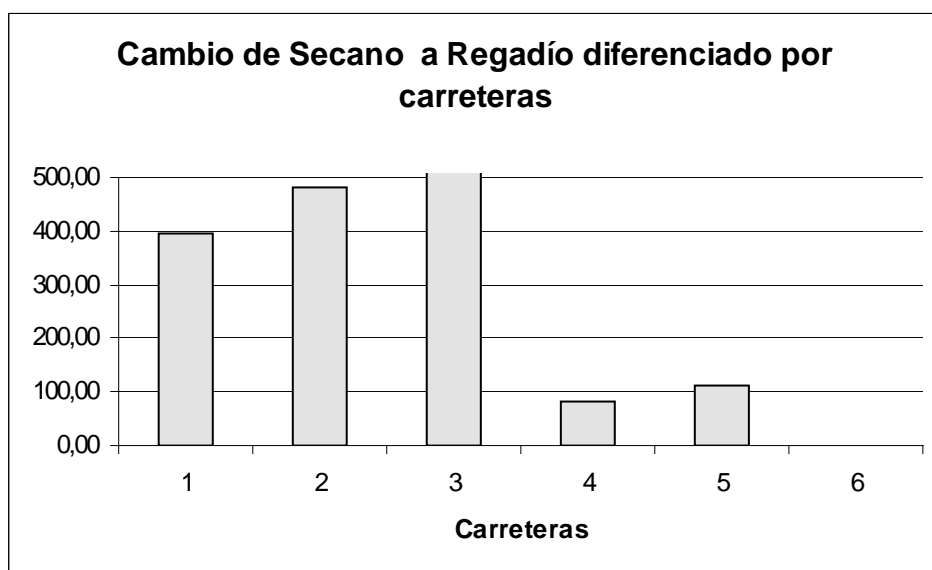
Fuente: Elaboración propia

Estos cambios proceden de áreas industriales o urbanas que fueron fotointerpretadas de una forma más amplia en 1987.

2. Cambios de secano a regadío (gráfico nº 33)

Aparecen dos grupos bastante diferenciados. En primer lugar los mayores cambios se concentran en las carreteras de Valencia, Barcelona y Burgos (626,35%, 483,11% y 396,62% respectivamente). El segundo grupo está formado por las carreteras de Extremadura y Andalucía (113,18% y 82,77%), no observándose cambios de este tipo en la carretera de La Coruña.

Gráfico N° 33: Cambios de secano a regadío diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

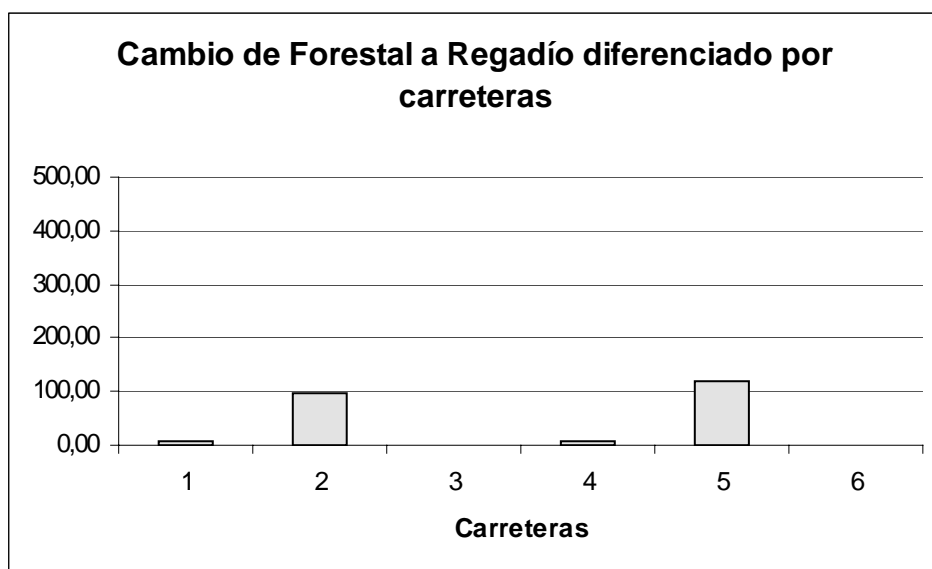
En las carreteras de Valencia y Barcelona se corresponde con zonas de borde de clases, que con motivo del cambio de tamaño de pixel aparecen con clases diferentes.

En la carretera de Burgos las zonas que presentan cambio a regadío en torno a los bordes del circuito del Jarama, constituyen realmente regadíos. La explicación es doble, o bien se han transformado secanos a regadíos o lo más probable es que sea un error del mapa de usos de 1987 (*Corine Land Cover*).

3. Cambios de forestal a regadío (gráfico nº 34).

Estos cambios son insignificantes y aparecen concentrados en las carreteras de Extremadura (120,27%) y Barcelona (95,27%). En el resto de las carreteras aunque aparecen algunos son prácticamente insignificantes.

Gráfico N° 34: Cambios de forestal a regadío diferenciado por carreteras.



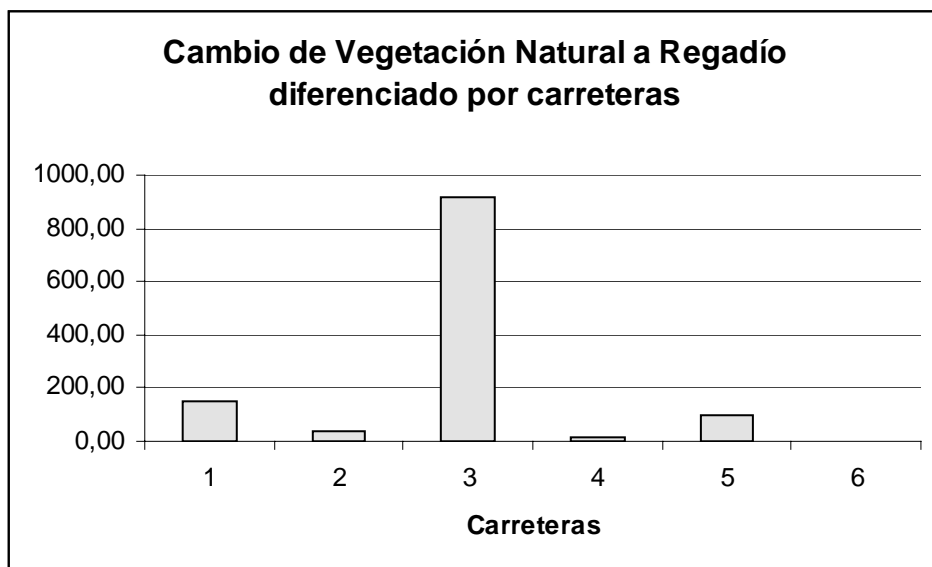
Fuente: Elaboración propia

4. Cambios de vegetación natural a regadío (gráfico n° 35).

Los cambios de Vegetación natural a Regadío aparecen concentrados casi exclusivamente en la carretera de Valencia (915,88%); en el resto de las carreteras son poco significativos. En este caso hemos decidido cambiar la escala de representación debido al valor tan alto que aparece.

Los cambios en la carretera de Valencia proceden de otros pastizales y la mayor parte son consecuencia de la transformación del tamaño de pixel, exceptuando la zona más amplia en torno a Rivas Vacimadrid que es regadío actualmente. Creemos que el origen de este cambio puede ser que apareciera como vegetación de ribera en el año 1987, debido a la similar respuesta espectral que tienen ambas clases informacionales.

Gráfico N° 35: Cambios de vegetación natural a regadío diferenciado por carreteras.

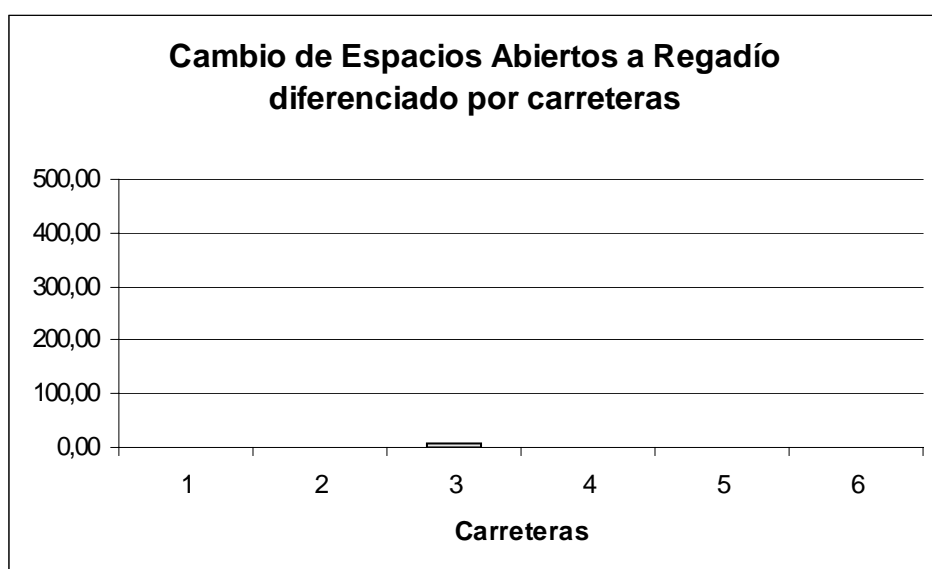


Fuente: Elaboración propia

5. Cambios de espacios abiertos a regadío (gráfico nº 36).

Estos cambios son prácticamente inapreciables y aparecen concentrados exclusivamente en la carretera de Valencia (6,42%).

Gráfico Nº 36: Cambios de espacios abiertos a regadío diferenciado por carreteras.

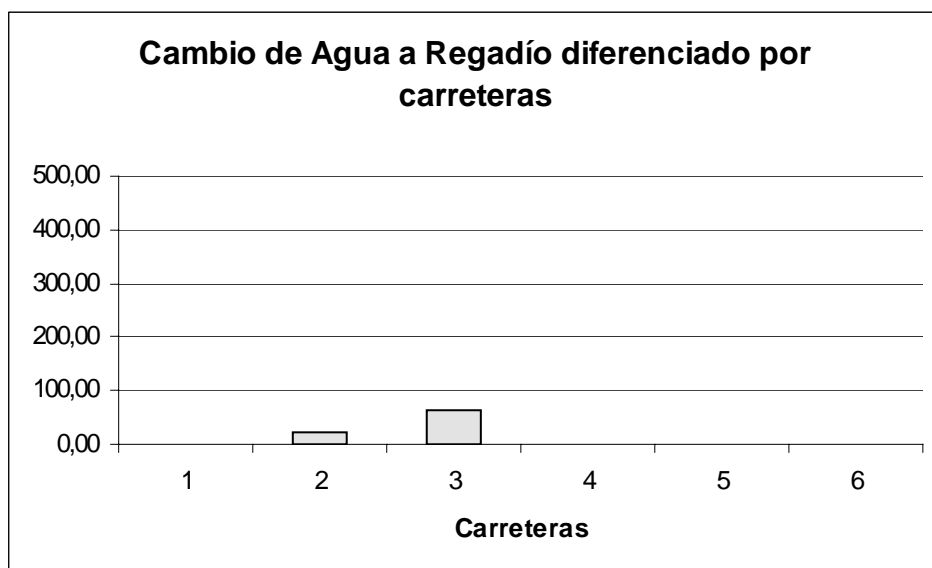


Fuente: Elaboración propia

6. Cambios de agua a regadío (gráfico nº 37)

Estos cambios procedentes evidentemente de errores. Aparecen concentrados exclusivamente en las carreteras de Valencia (61,82%) y en la de Barcelona (23,31%).

Gráfico N° 37: Cambios de agua a regadío diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

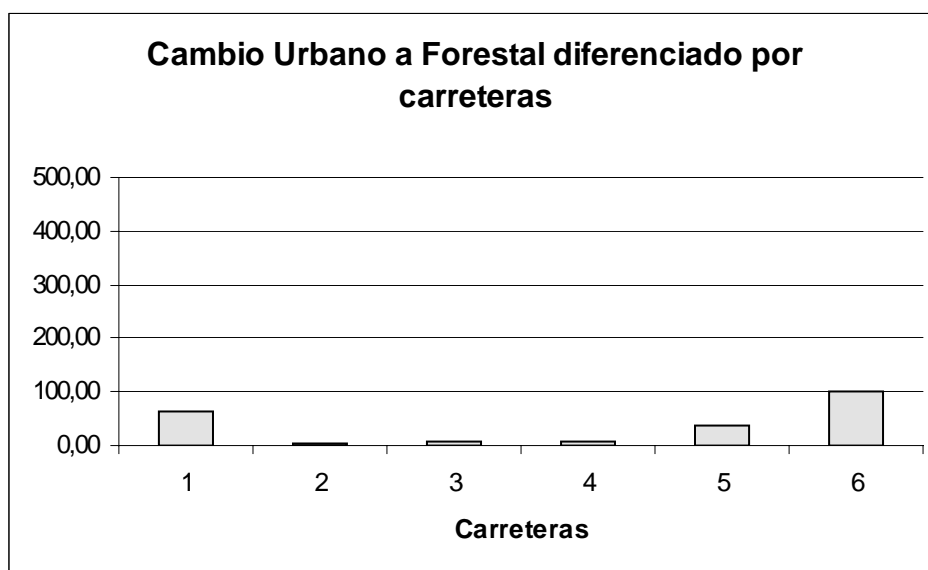
LOS CAMBIOS A FORESTAL EN LAS CARRETERAS aparecen en el mapa n° 35. Teniendo en cuenta los porcentajes absolutos están distribuidos de la siguiente forma (ver tabla n° 17): urbano en un 1,19%, secano en un 2,7%, regadío en un 0,15%, vegetación natural en un 15,29 %, espacios abiertos en un 0,245%, agua en un 0,08%

El cambio medio a forestal en las carreteras (Anexo 10) es de 1650. Estos proceden de:

1. Cambios de urbano a forestal (gráfico n° 38)

Estos cambios son muy poco representativos en las carreteras. Los cambios de urbano a forestal aparecen bastante destacados en la carretera de La Coruña (102,36%). Un segundo grupo está formado por las carreteras de Burgos y Extremadura (64% y 37,33%). En el resto de las carreteras aparecen cambios, pero son muy poco representativos.

Gráfico N° 38: Cambios de urbano a forestal diferenciado por carreteras.



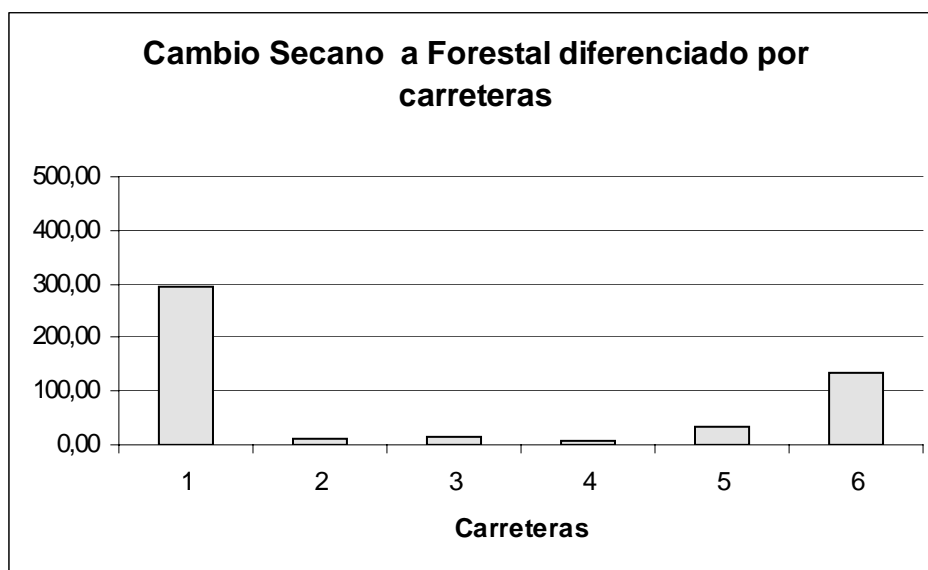
Fuente: Elaboración propia

El origen está en la situación en zonas de bordes de clase con los problemas ya mencionados en ocasiones anteriores.

2. Cambios de secano a forestal (gráfico n° 39).

Estos cambios aparecen concentrados de forma mayoritaria en la carretera de Burgos (294,55%) y en segundo lugar aunque con bastante diferencia en la carretera de La Coruña (136,06%). En el resto de las carreteras son poco relevantes y se distribuyen homogéneamente.

Gráfico N° 39: Cambios de secano a forestal diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

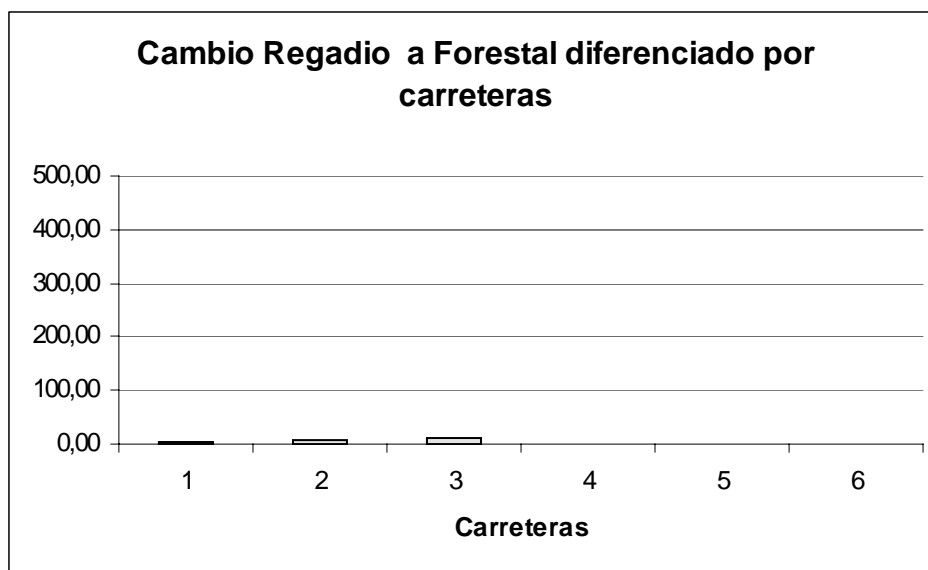
Los cambios en la carretera de Burgos están situados en la parte norte de esta carretera y proceden mayoritariamente de zonas ocupadas por praderas y pequeñas zonas (en torno a Lozoyuela) por sistemas agroforestales. Se localizan en los alrededores de los núcleos urbanos de Cabanillas de la Sierra, La Cabrera, Lozoyuela, Buitrago de Lozoya, Robregordo y Somosierra.

Los cambios procedentes de secano en la carretera de La Coruña se derivan de la transformación de sistemas agroforestales localizados fundamentalmente entre los núcleos de Guadarrama y Collado Villalba.

3. Cambios de regadío a forestal (gráfico nº 40).

Estos cambios representan un porcentaje que no llega al 0,2%. Los cambios de regadío a forestal aparecen concentrados exclusivamente en las carreteras de Valencia (12,79%), Barcelona (8,61%), Burgos (5,03%) y con mucha menor importancia en la de Andalucía (1,09%)

Gráfico N° 40: Cambios de regadío a forestal diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

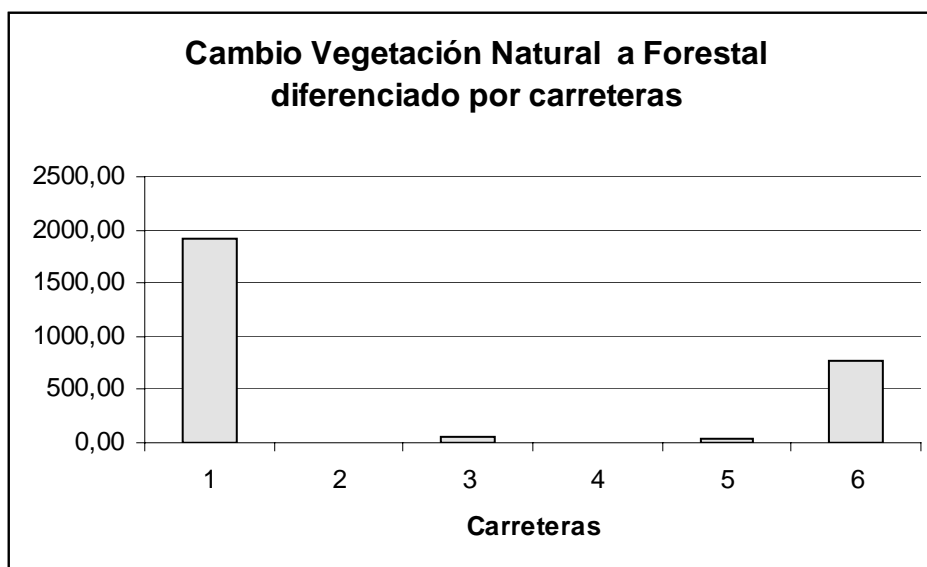
4. Cambios de vegetación natural a forestal (gráfico n° 41)

Estos cambios son los más numerosos y por ello hemos variado la escala de representación. Aparecen concentrados casi exclusivamente en las carreteras de Burgos (1922,97%) y La Coruña (769,39%).

En la carretera de Burgos están representados por transformaciones de matorral boscosos en transición y grandes formaciones de matorral localizadas en torno a los municipios de Somosierra y Robregordo y hasta aproximadamente La Serna de los Montes; a partir de aquí hacia el sur todos los cambios proceden de otros pastizales.

En la carretera de La Coruña, hasta aproximadamente Las Matas, los cambios a forestal proceden de Matorral boscoso en transición y se combinan con los procedentes de grandes formaciones de matorral que aparecen hacia el norte.

Gráfico N° 41: Cambios de vegetación natural a forestal diferenciado por carreteras.

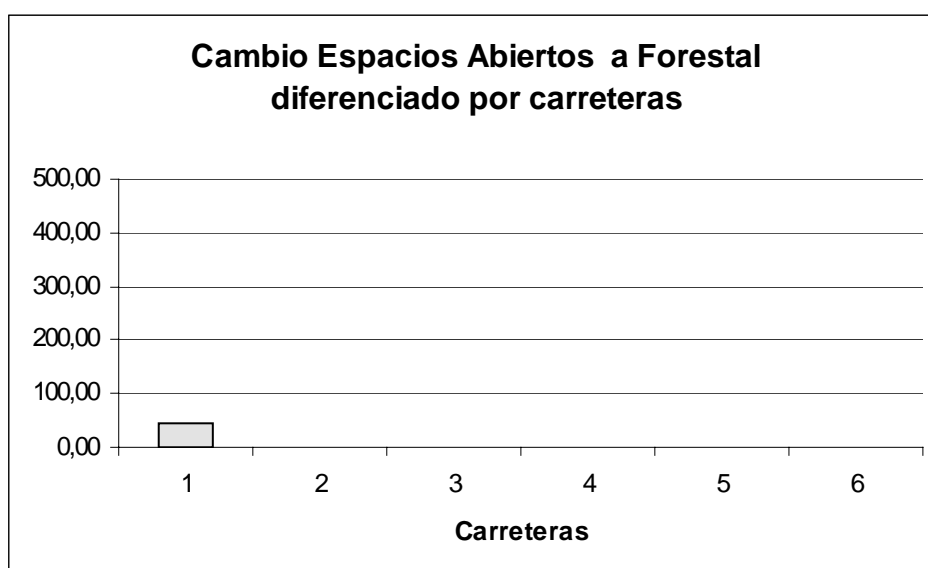


Fuente: Elaboración propia

5. Cambios de espacios abiertos a forestal (gráfico n° 42).

En este caso los cambios son prácticamente inapreciables y se localizan sólo en la carretera de Burgos (44,55).

Gráfico N° 42: Cambios de espacios abiertos a forestal diferenciado por carreteras.

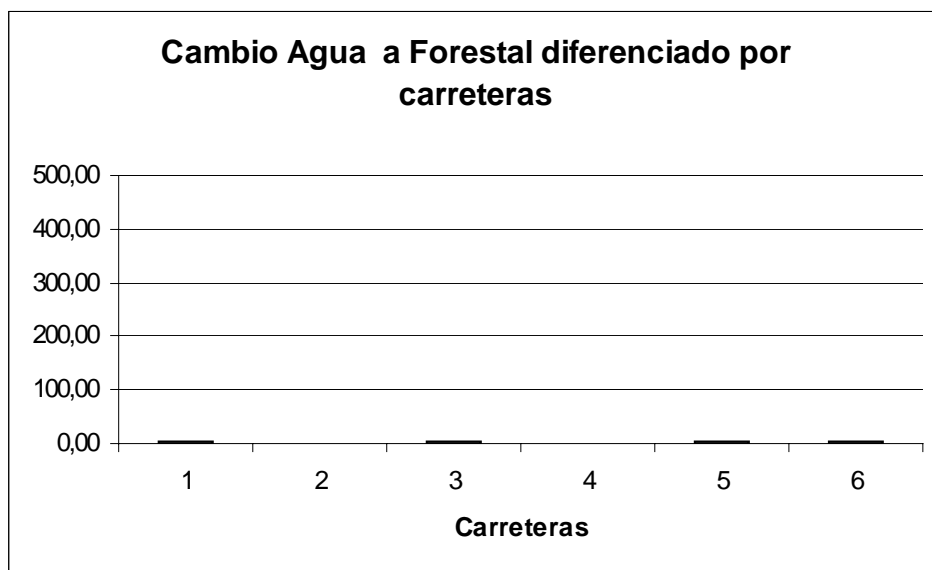


Fuente: Elaboración propia

6. Cambios de agua a forestal (gráfico nº 43).

Son resultado de errores y se reparten de forma bastante equilibrada entre las carreteras de Burgos, Valencia, Extremadura y La Coruña.

Gráfico N° 43: Cambios de agua a forestal diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

LOS CAMBIOS A VEGETACIÓN NATURAL EN LAS CARRETERAS

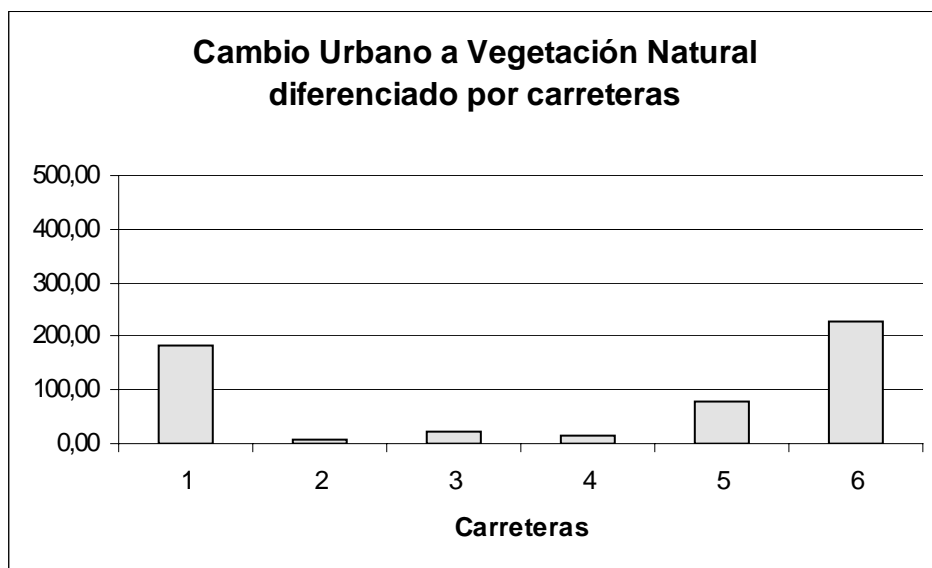
aparecen en el mapa nº 37. Teniendo en cuenta los porcentajes absolutos, se distribuyen de la siguiente forma (ver tabla nº 17): urbano en un 3,4%, secano en un 15,17%, regadío en un 1,02%, forestal en un 2,55 %, espacios abiertos en un 0,82%, agua en un 0,16%.

El cambio medio a vegetación natural en las carreteras (Anexo 10) es de 1943. Estos proceden de:

1. Cambios de urbano a vegetación natural (gráfico nº 44)

Los cambios de urbano a vegetación natural se distribuyen en un primer grupo formado por las carreteras de La Coruña y Burgos (228,0%, y 183,69%), un segundo grupo formado por la carretera de Extremadura (79,46%) y un tercer grupo con cambios menos significativos formado por las carreteras de Valencia, Andalucía y Barcelona (20,90%, 15,90% y 7,98 respectivamente)

Gráfico N° 44: Cambios de urbano a vegetación natural diferenciado por carreteras.



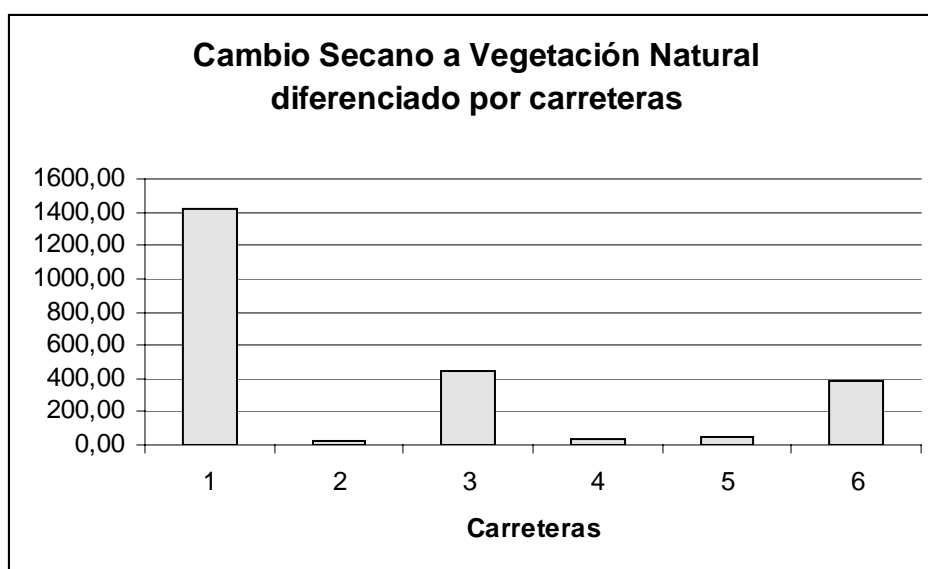
Fuente: Elaboración propia

Estos cambios no son muy elevados y en su mayor parte son el resultado de los bordes de áreas urbanas fotointerpretados de una forma más amplia en el año 1987. Únicamente en la carretera de Burgos en torno a La Cabrera y Venturada, aparecen áreas que estaban ocupadas por zonas de extracción minera.

2. Cambios de secano a vegetación natural (gráfico nº 45).

Estos son los cambios más importantes y por ello se ha variado la escala de representación. El cambio de secano a vegetación natural aparece bastante destacado en la carretera de Burgos (1422,18%). Las carreteras de Valencia y La Coruña formarían un segundo grupo con porcentajes de 446,42% y 389,50% y en el resto de las carreteras aunque aparecen cambios, éstos son poco representativos.

Gráfico Nº 45: Cambios de secano a vegetación natural diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

En la carretera de Burgos hasta aproximadamente Venturada, los cambios proceden de secanos abandonados y también de otros pastizales. En este tramo de la carretera detectamos dos errores: el primero se debe a un posible error en el mapa de usos de 1987 porque creemos que hay parte de estas zonas que ya estaban como secano en esa fecha; por el contrario, el otro error se debe al mapa de 1997 que ha cogido como vegetación natural una zona, al sur del Molar, que en la imagen IRS 1C aparece claramente como secano. Desde Venturada hacia el norte el cambio a vegetación natural proviene básicamente de praderas.

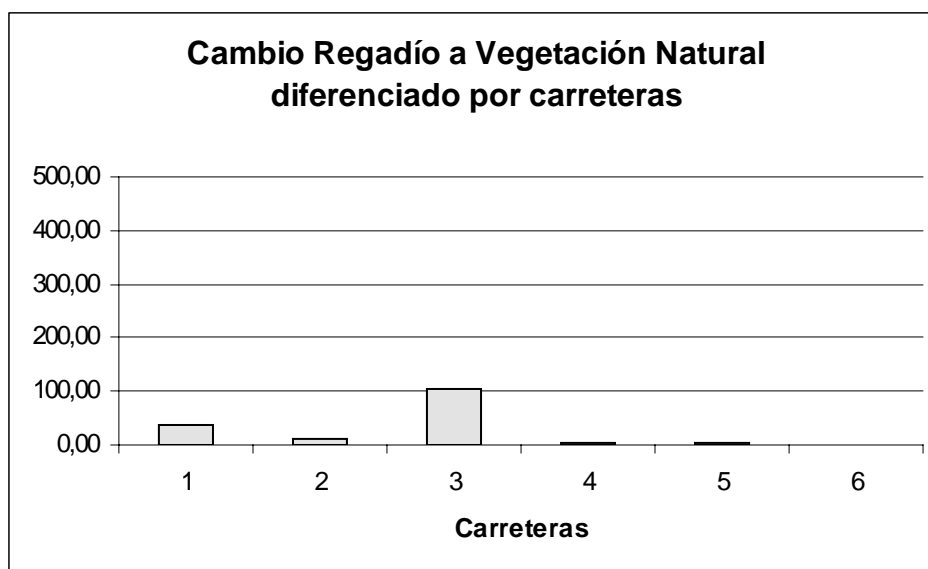
En la carretera de Valencia los cambios están ocasionados por la transformación de antiguos secanos que han sido abandonados en torno a Rivas Vaciamadrid. Al sur de esta carretera (Perales de Tajuña, Villarejo de Salvanes) los cambios derivan de terrenos agrícolas pero con vegetación natural.

En la carretera de La Coruña derivan de otros pastizales en torno a las Rozas y las Matas y más al norte en torno a Collado Villalba y Alpedrete de sistemas agroforestales.

3. Cambios de regadío a vegetación natural (gráfico nº 46).

Los cambios de regadío a vegetación natural son poco significativos y se concentran mayoritariamente en la carretera de Valencia (103,96%). Destaca en segundo lugar aunque con bastante diferencia las carreteras de Burgos y Barcelona (37,16% y 12,93%). En el resto de las carreteras estos cambios son poco destacables.

Gráfico N° 46: Cambios de regadío a vegetación natural diferenciado por carreteras.

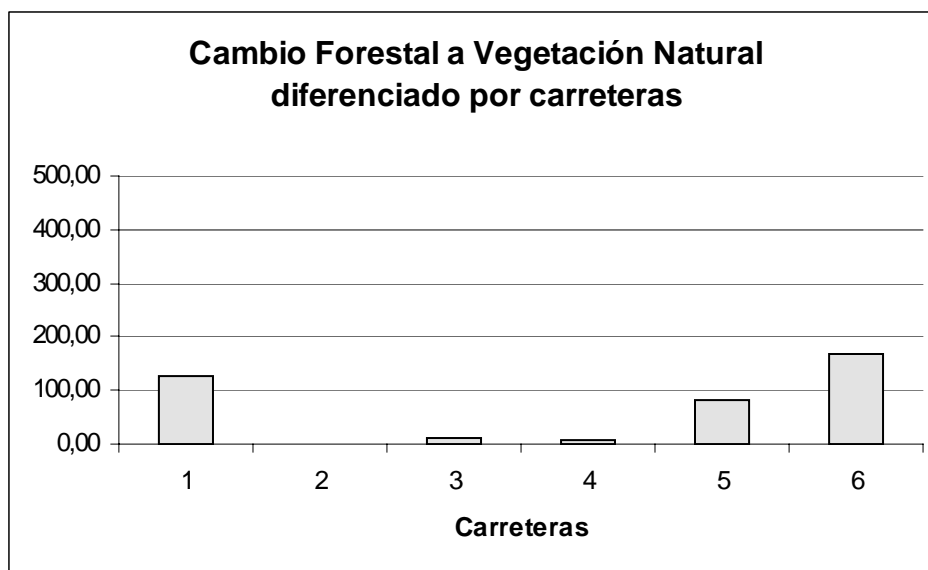


Fuente: Elaboración propia

4. Cambios de forestal a vegetación natural (gráfico nº 47).

Estos cambios están distribuidos principalmente entre las carreteras de La Coruña (168,81%) y la de Burgos (127,90%). La carretera de Extremadura también presenta algún cambio de forestal a vegetación natural (83,32%). En el resto de las carreteras es poco significativo.

Gráfico N° 47: Cambios de forestal a vegetación natural diferenciado por carreteras.



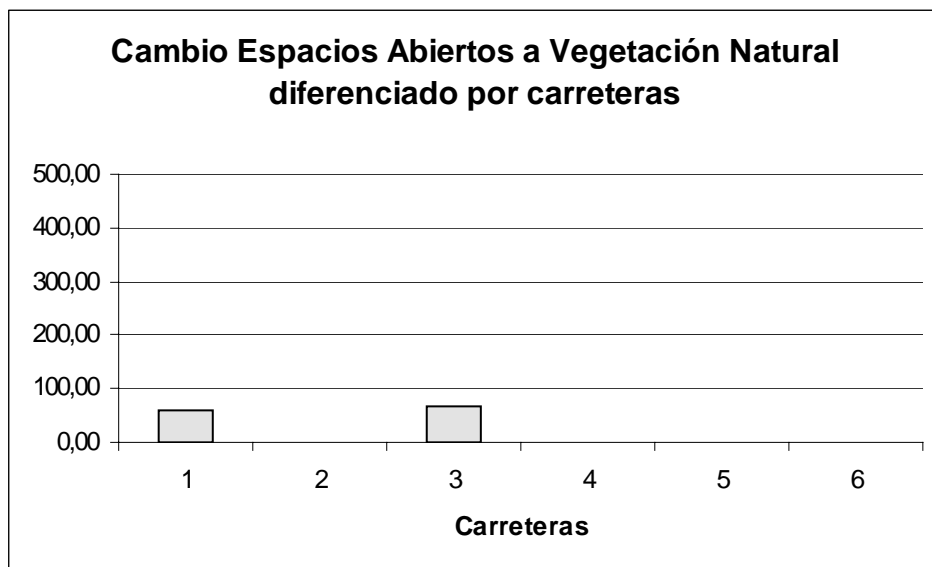
Fuente: Elaboración propia

La mayor parte de estos cambios en todas las carreteras son errores de la clasificación que ha clasificado parte de los pinos como vegetación natural.

5. Cambios de espacios abiertos a vegetación natural (gráfico n° 48).

Estos cambios son insignificantes y están distribuidos exclusivamente entre las carreteras de Valencia y Burgos (67,52% y 60,37%)

Gráfico N° 48: Cambios de espacios abiertos a vegetación natural diferenciado por carreteras.

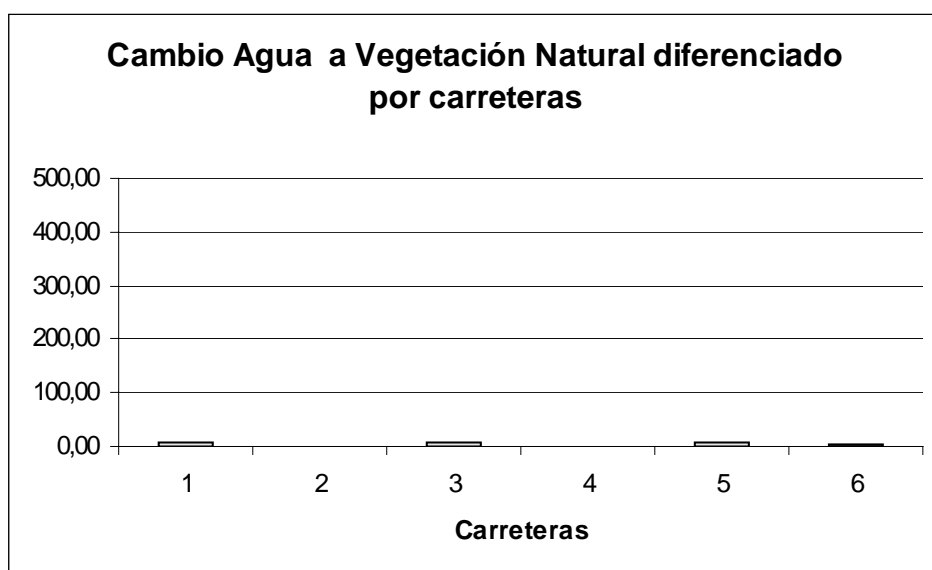


Fuente: Elaboración propia

6. Cambios de agua a vegetación natural (gráfico nº 49)

En este caso aunque provenga de errores, la distribución se encuentra equilibrada entre todas las carreteras excepto en las de Barcelona y Andalucía.

Gráfico N° 49: Cambios de agua a vegetación natural diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

LOS CAMBIOS A ESPACIOS ABIERTOS EN LAS CARRETERAS

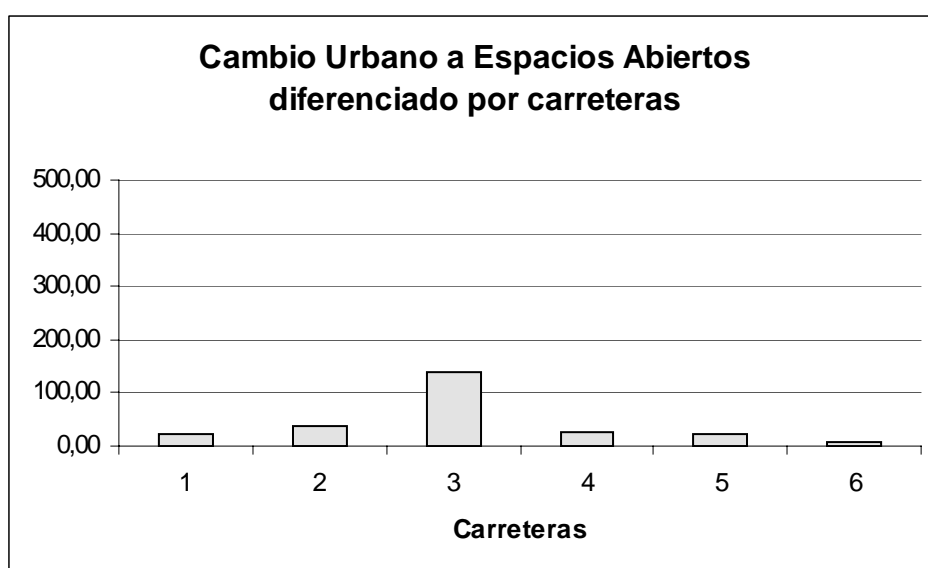
aparecen en el mapa nº 39. Teniendo en cuenta los porcentajes absolutos se distribuyen de la siguiente forma (ver tabla nº 17): urbano en un 0,25%, seco en un 2,2%, regadío en un 0,05%, vegetación natural en un 1,06 %, forestal en un 0,03%, agua en un 0,004%

El cambio medio a espacios abiertos en las carreteras es de 310, 28 (Anexo 10). Como puede observarse estas cifras representan una cantidad muy pequeña de cambios y mayoritariamente se corresponden con las zonas de bordes mencionadas en casos anteriores; por ello no nos vamos a comentar estos resultados. Los cambios proceden de:

1. Cambios de urbano a espacios abiertos (gráfico nº 50).

Los cambios se encuentran mayoritariamente en la carretera de Valencia (137,30%); en el resto de las carreteras se distribuyen homogéneamente

Gráfico Nº 50: Cambios de urbano a espacios abiertos diferenciado por carreteras.

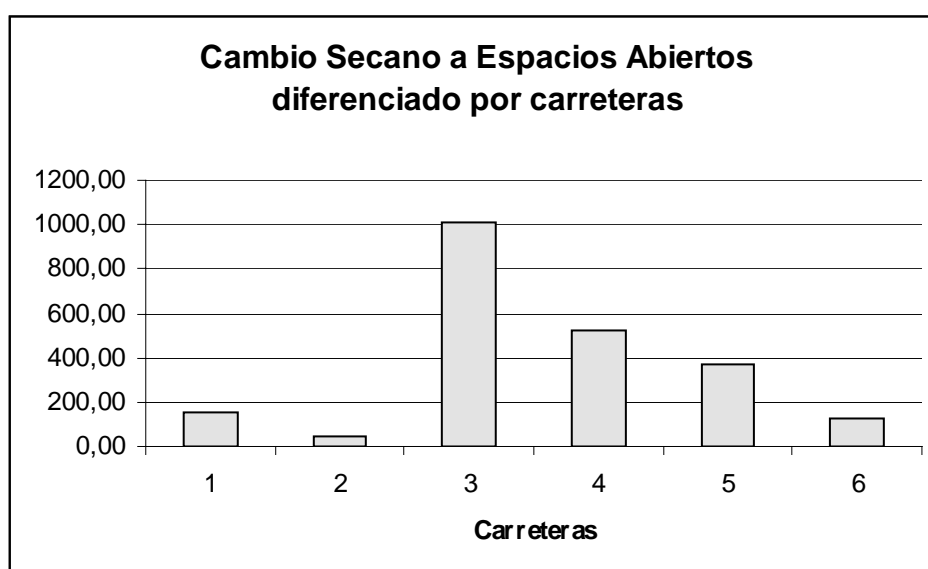


Fuente: Elaboración propia

2. Cambios de seco a espacios abiertos (gráfico nº 51).

Los cambios de secano a espacios abiertos se encuentran bastante desequilibrados por carreteras. En este caso se ha variado la escala de representación. Un primer grupo está formado por la carretera de Valencia (1014,25%). El segundo grupo estaría formado por las carreteras de Andalucía y Extremadura (518,89% y 368,70%). El tercer grupo por las carreteras de Burgos (156,31% y La Coruña (126,66%) y por último se encontraría la carretera de Barcelona con un porcentaje de 45,77%.

Gráfico N° 51: Cambios de secano a espacios abiertos diferenciado por carreteras.

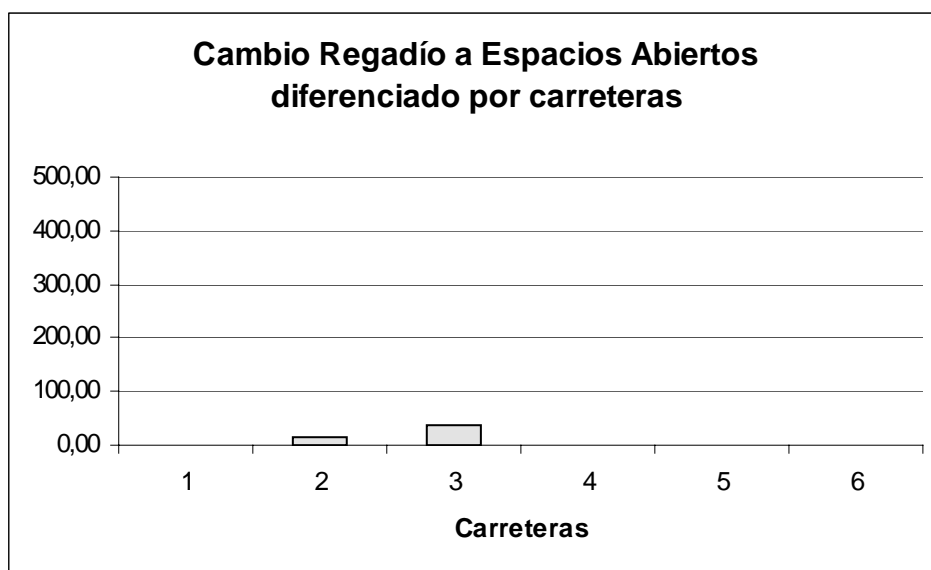


Fuente: Elaboración propia

3. Cambios de regadío a espacios abiertos (gráfico n° 52).

Estos cambios se encuentran de forma casi exclusiva en las carreteras de Valencia y Barcelona (35,45% y 15,79%).

Gráfico N° 52: Cambios de regadío a espacios abiertos diferenciado por carreteras.

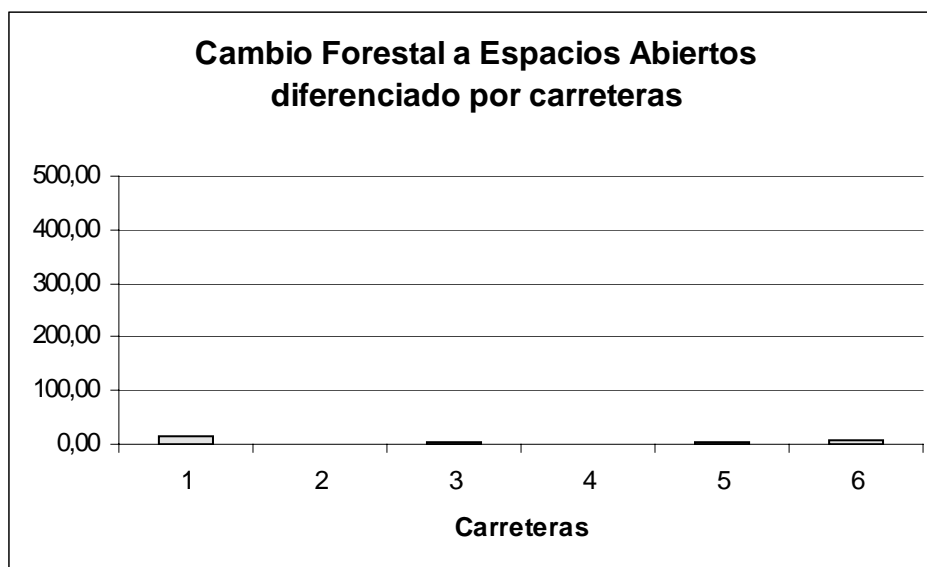


Fuente: Elaboración propia

4. Cambios de forestal a espacios abiertos (gráfico nº 53).

Los cambios de forestal a espacios abiertos se concentran de forma mayoritaria en la carretera de Burgos (16,11%); en el resto de las carreteras salvo en la de Andalucía (no existen cambios de este tipo) y en la de Barcelona en la cual estos cambios son insignificantes (0,32); se reparten de forma equilibrada y oscilan en valores entre 3,22% la carretera de Extremadura y 5,80 la de La Coruña.

Gráfico Nº 53: Cambios de forestal a espacios abiertos diferenciado por carreteras.

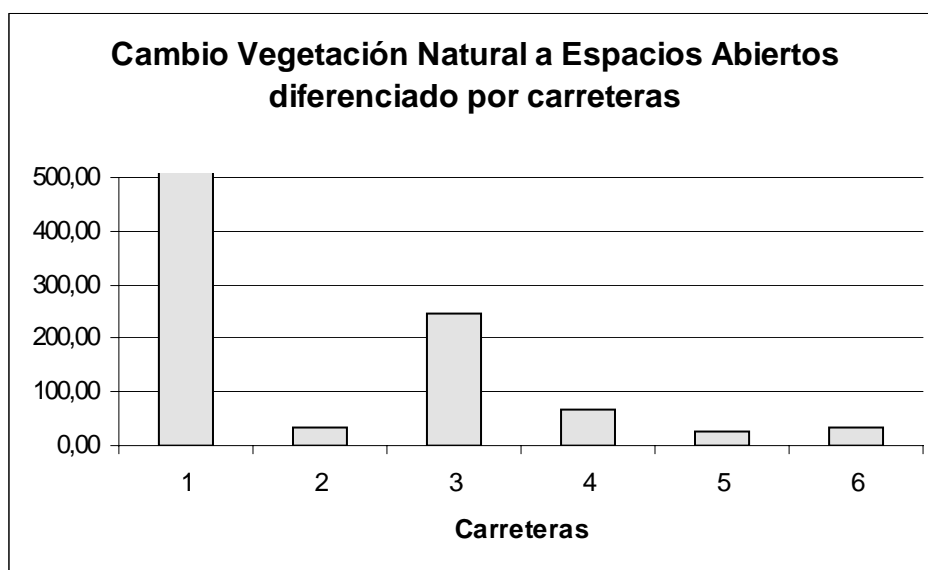


Fuente: Elaboración propia

5. Cambios de vegetación natural a espacios abiertos (gráfico nº 54).

Los cambios de vegetación natural a espacios abiertos aparecen mayoritariamente en la carretera de Burgos (626,53%) seguida aunque con gran diferencia por la de Valencia (245,91%). El resto de las carreteras están bastante equilibradas.

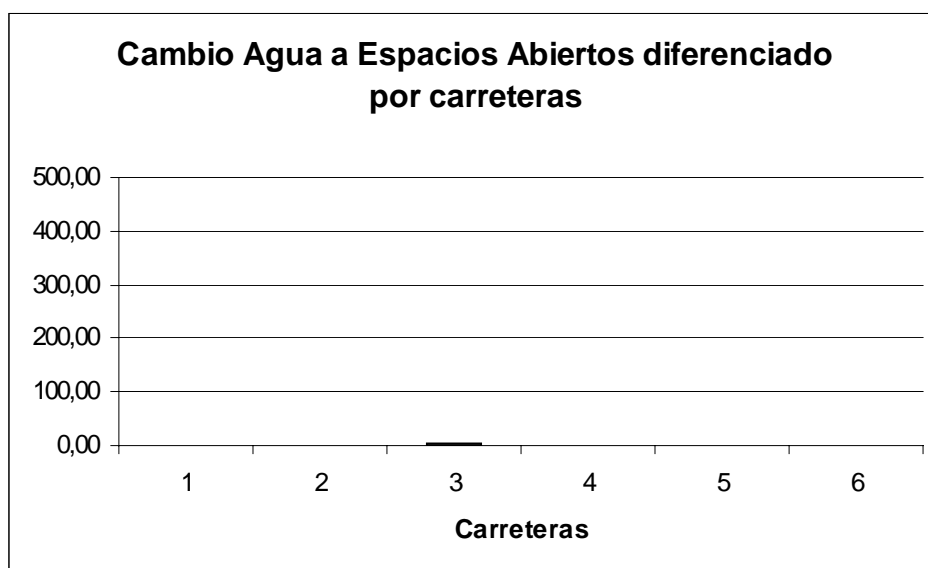
Gráfico N° 54: Cambios de vegetación natural a espacios abiertos por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

6. Cambios de agua a espacios abiertos (gráfico nº 55). Son errores.

Gráfico N° 55: Cambios de agua a espacios abiertos diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

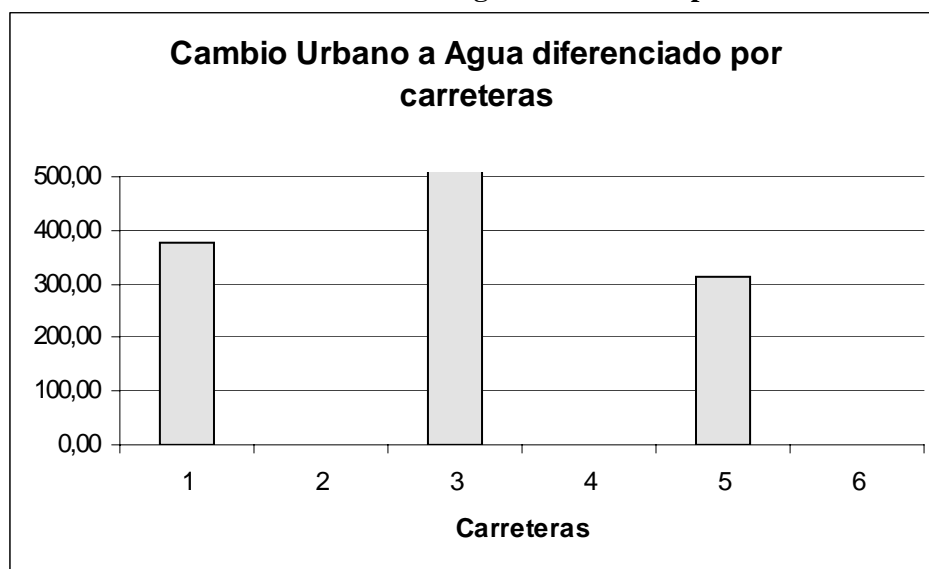
LOS CAMBIOS A AGUA EN LAS CARRETERAS aparecen en el mapa nº41. Teniendo en cuenta los porcentajes absolutos se distribuyen de la siguiente forma (ver tabla nº 17): urbano en un 0,07%, secano en un 0,0%, regadío en un 0,02%, vegetación natural en un 0,03 %, forestal en un 0,06%, espacios abiertos en un 0,0%

El cambio medio a agua en las carreteras (Anexo 10) es de 15,86. Como podemos observar estas cifras representan una cantidad muy pequeña y son fruto de errores. Éstos proceden de:

1. Cambios de urbano a agua (gráfico nº 56)

Concentrados en las carreteras de Valencia (643,13 %), Barcelona (378,31%) y Extremadura (315,26%)

Gráfico Nº 56: Cambios de urbano a agua diferenciado por carreteras.



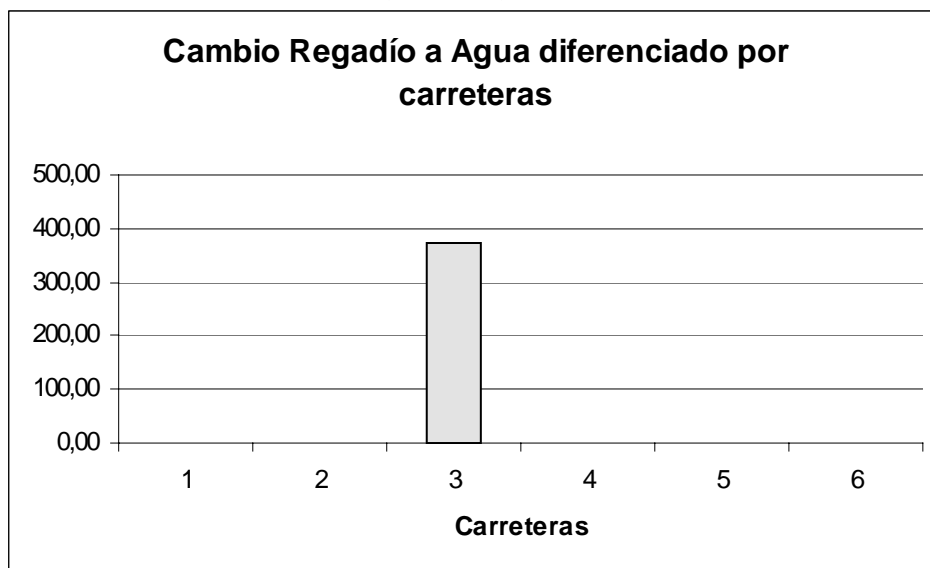
Fuente: Elaboración propia

2. Cambios de secano a agua. No existen cambios de este tipo.

3. Cambios de regadío a agua (gráfico nº 57).

Sólo aparecen en la carretera de Valencia (372,01%)

Gráfico Nº 57: Cambios de regadío a agua diferenciado por carreteras.

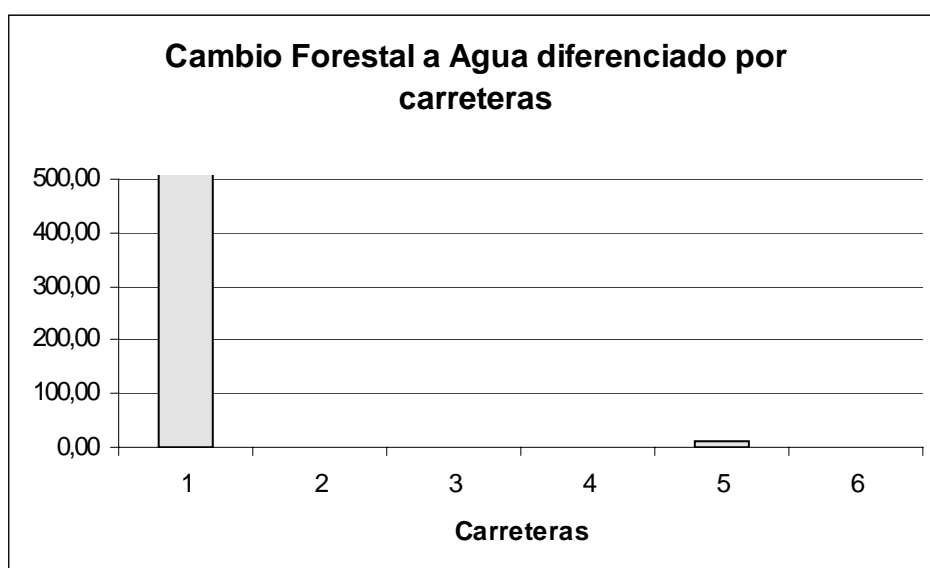


Fuente: Elaboración propia

4. Cambios de forestal a agua(gráfico nº 58).

Sólo aparecen en la carretera de Burgos (264,82%)

Gráfico Nº 58: Cambios de forestal a agua diferenciado por carreteras.

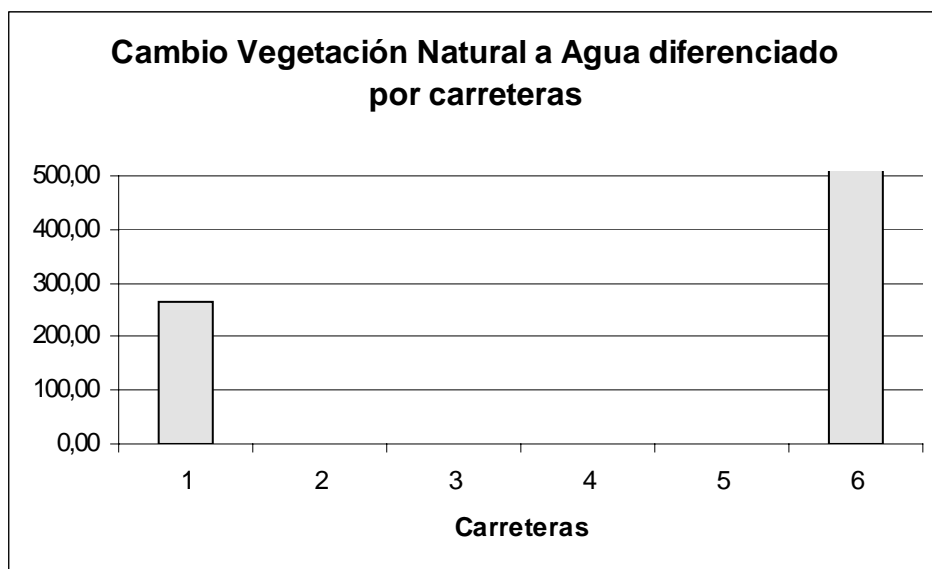


Fuente: Elaboración propia

5. Cambios de vegetación natural a agua (gráfico nº 59).

Concentrados en la carretera de La Coruña y Burgos.

Gráfico N° 59: Cambios de vegetación natural a agua diferenciado por carreteras.



Fuente: Elaboración propia

6. Cambios de espacios abiertos a agua. No existen

En este caso al igual que hicimos con la Comunidad de Madrid tampoco vamos a comentar los usos desaparecidos porque ya han sido tratados implícitamente; únicamente incluimos los mapas.

4. Conclusiones.

Este apartado ha analizado la detección, localización y cuantificación de todos los cambios producidos en todas las carreteras correspondiente en su mayor parte a la Comunidad. No se trata de explicar exhaustivamente el origen y las causas de estos cambios; sino únicamente establecer una metodología de análisis y las tendencias globales de cambio producidas en el periodo objeto de estudio.

En primer lugar hemos analizado la distribución global de los cambios en las diferentes carreteras; para ello la metodología diseñada ha sido prácticamente la misma que la utilizada en el apartado anterior para la Comunidad de Madrid y para el conjunto total de las carreteras; la única diferencia estriba en que en este caso ha sido necesario realizar el proceso individualmente en cada carretera.

El análisis de los cambios globales en las diferentes carreteras nos lleva a establecer la conclusión de que la carretera que presenta un mayor dinamismo y además con gran diferencia con respecto a las demás es la carretera de Burgos, seguida por las carreteras de La Coruña y Valencia.

Los cambios totales experimentados por el conjunto de las carreteras demostraban que el mayor cambio producido en torno a ellas era el cambio a uso urbano, seguido por el cambio a vegetación natural, forestal y seco; estos eran los más importantes, el resto eran prácticamente insignificantes. Estos cambios, excepto el urbano, no se distribuyen homogéneamente en las seis carreteras analizadas, evidentemente dependiendo de la localización de cada una de ellas predomina un tipo de cambio u otro (por ejemplo en los cambios a regadío destaca la carretera de Valencia, en los cambios a forestal la de Burgos y La Coruña y en los cambios a seco la de Valencia y Barcelona). Por el contrario, el cambio a uso urbano aparece con una distribución muy similar en todas las carreteras; es decir, el espacio urbano se extiende claramente a lo largo de las

carreteras radiales, pero no se refleja ninguna tendencia mayoritaria hacia ninguna de ellas.

El segundo aspecto analizado en este apartado es la detección, localización y cuantificación de todos y cada uno de los posibles cambios ocurridos en las carreteras analizadas, una vez más sin entrar en explicaciones detalladas. En este caso hemos elaborado un coeficiente que permite establecer los cambios más determinantes. Las conclusiones más importantes son:

- Los cambios producidos a urbano, es decir, la ampliación del espacio urbano, derivan del secano y de la vegetación natural, al igual que ocurría para el conjunto de la Comunidad de Madrid. Los cambios procedentes de secano de reparte homogéneamente entre todas las carreteras, por el contrario en los derivados de la vegetación natural destaca la carretera de La Coruña frente a las demás.
- Los cambios a secano provienen del regadío (concentrado en la carretera de Barcelona) y de vegetación natural, pastizales y matorrales subarborescentes poco densos localizados en su mayor parte en la carretera de Valencia.
- Los cambios a forestal proceden de la vegetación natural, matorral boscoso en transición y grandes formaciones de matorral y aparecen concentrados en las carreteras de Burgos y la de La Coruña.
- Los cambios a vegetación natural derivan de secanos (secanos abandonados y otros pastizales) y se concentran en la carretera de Burgos.

CAPITULO 5. EVOLUCIÓN USOS DEL SUELO EN TORNO A LAS CARRETERAS en función DE LA DISTANCIA

Otro análisis importante que queríamos realizar en este trabajo es el estudio de cambios en los usos del suelo en función de la distancia al centro Madrid y analizar la regularidad de estos cambios en función de las diferentes carreteras

Este análisis se ha realizado mediante los siguientes pasos.

1. Determinación del centro de referencia a partir del cual evaluar los cambios.
2. Determinación de la distancia de análisis; es decir, la distancia a la cual subdividir la Comunidad de Madrid: Establecimiento de coronas de distancia.
3. Análisis de los cambios de usos del suelo en función de la distancia para el conjunto de las carreteras.
4. Análisis de los cambios de usos del suelo en función de la distancia en cada una de las carreteras.
5. Análisis específico de los cambios de usos del suelo a urbano en función de la distancia en cada una de las carreteras.
6. Análisis comparativo de cambios de usos del suelo globales y cambios a urbano en función de la distancia en cada una de las carreteras.

5.1. DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE REFERENCIA

El primer paso que debe realizarse es la determinación del centro de referencia a partir del cual poder evaluar los cambios. Este centro es la Puerta del Sol.

La determinación del centro de referencia implica la obtención de un fichero que incluya el contorno de la Comunidad y un punto con las coordenadas de la Puerta del Sol. Este proceso se ha realizado a través de ERDAS IMAGE mediante las siguientes fases:

1. El contorno provincial de Madrid está en la BCN 200 en formato *E00* (formato ARC/INFO). ERDAS IMAGE necesita que este fichero esté en formato raster y por ello ha sido necesario pasar el fichero a este formato con las utilidades de Importación de ERDAS IMAGE ya comentadas en apartados anteriores.
2. Dibujar un punto que se corresponda con las coordenadas de la Puerta del Sol en el fichero raster de la Comunidad de Madrid; se realiza con las herramientas del *AOI* de ERDAS IMAGE.
3. De esta forma se obtiene un fichero raster que tiene dos clases: la clase 1 correspondiente a toda la Comunidad y la clase 2 que se corresponde con la Puerta del Sol. La determinación de este número de clase es muy importante en ERDAS IMAGE porque el fichero de distancias que vamos a realizar en el siguiente apartado (*buffer* de distancias) lo realiza teniendo en cuenta el número de clase. El programa realiza el *buffer* en torno a una clase.

El resultado es un fichero de imagen que no vamos a representar gráficamente porque para que se viera la Puerta del Sol deberíamos utilizar una escala muy detallada.

5.2. DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA DE ANÁLISIS

El análisis de distancias debe realizarse partiendo de un fichero de la Comunidad de Madrid, subdivido en función de una distancia determinada; es decir, debe subdividirse la Comunidad de Madrid en función de coronas de distancia.

La distancia a la que decidimos subdividir la Comunidad de Madrid fue de 3 Km. partiendo de la Puerta del Sol. El establecimiento de esta distancia está determinado por los siguientes factores:

- La existencia de otros mapas que subdividen la Comunidad de Madrid en función de la distancia tomando como referencia la distancia de 5 Km. Nosotros consideramos que 5 Km. es una distancia demasiado amplia para nuestro estudio.
- En principio establecimos coronas de distancia de 1Km. pero pensamos que era una distancia poco representativa para la elaboración posterior de un modelo de expansión de la ciudad en función de la distancia.
- Las consideraciones anteriores nos hacen determinar una distancia intermedia entre las dos; además pensamos que 3 Km. es una distancia suficientemente representativa para que puedan diferenciarse cambios.

Este proceso se realiza mediante la generación de *buffer* de distancias (anteriormente ya se ha explicado como se realiza este proceso en ERDAS IMAGINE).

La generación de este mapa de distancias en ERDAS IMAGINE no es tarea fácil debido a que este programa no realiza un buffer en función de una distancia determinada; es decir, de un único paso no se consigue un fichero que subdivida la Comunidad de Madrid en coronas de 3 Km. Es necesario realizar dos pasos:

1 Señalar hasta qué distancia y a qué clase se quiere realizar el *buffer*.

En nuestro caso consideramos esta distancia de 2820 pixels. 2820 * 30 m de tamaño de pixel hacen una distancia total de 84.600 m.; es decir, 84,6 Km. distancia lo suficientemente amplia para que englobe toda la Comunidad de Madrid.

El resultado es un fichero continuo que hay que pasar a temático de la misma forma que se explicó anteriormente en los *buffers* de las diferentes carreteras. La imagen final es una imagen dividida en 2821 coronas o *buffers* de 1 pixel, es decir, de 30 m.

2 Recodificación del fichero generado (recodificación del *buffer*).

Este paso consiste en la recodificación de la imagen generada (2821 clases) en coronas de 3Km, es decir, de 100 pixeles (1 pixel = 30m; 100 pixels = 3000m). Este proceso se realiza con ERDAS IMAGINE dando nuevos valores a estas 2821 clases tal y como aparece en la tabla nº 23.

De esta forma, se consigue reducir el número de clases y la Comunidad de Madrid queda dividida en un total de 29 coronas de 3Km cada una tal y como aparecen en los mapas nº 57 y nº 58.

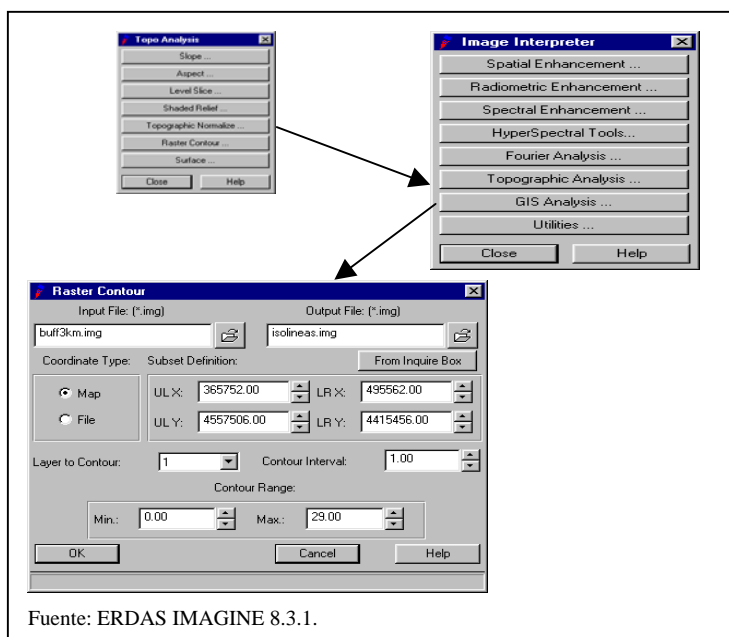
La diferencia entre ambos mapas estriba en que en el segundo mapa aparecen únicamente las líneas, los contornos de las diferentes coronas. Estos contornos son necesarios para superponer en posteriores mapas los usos del suelo a las coronas de distancia. Este mapa se ha conseguido tratando al fichero resultado del *buffer* como un Modelo Digital del Terreno del cual poder establecer curvas de nivel; en nuestro caso, curvas que representen a cada una de las coronas de distancia. El proceso realizado se refleja en la figura nº 71.

Tabla N° 23: Recodificación del buffer de distancias

| CLASE ANTIGUA | CLASE NUEVA |
|----------------|-------------|
| DE 1 A 100 | 1 |
| DE 101 A 200 | 2 |
| DE 201 A 300 | 3 |
| DE 301 A 400 | 4 |
| DE 401 A 500 | 5 |
| DE 501 A 600 | 6 |
| DE 601 A 700 | 7 |
| DE 701 A 800 | 8 |
| DE 801 A 900 | 9 |
| DE 901 A 1000 | 10 |
| DE 1001 A 1100 | 11 |
| DE 1101 A 1200 | 12 |
| DE 1201 A 1300 | 13 |
| DE 1301 A 1400 | 14 |
| DE 1401 A 1500 | 15 |
| DE 1501 A 1600 | 16 |
| DE 1601 A 1700 | 17 |
| DE 1701 A 1800 | 18 |
| DE 1801 A 1900 | 19 |
| DE 1901 A 2000 | 20 |
| DE 2100 A 2100 | 21 |
| DE 2101 A 2200 | 22 |
| DE 2201 A 2300 | 23 |
| DE 2301 A 2400 | 24 |
| DE 2401 A 2500 | 25 |
| DE 2501 A 2600 | 26 |
| DE 2601 A 2700 | 27 |
| DE 2701 A 2800 | 28 |
| DE 2801 A 2821 | 29 |

Fuente: Elaboración Propia.

Figura N° 71: Generación de isolíneas



Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1.

5.3. ANALISIS DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA PARA EL CONJUNTO DE LAS CARRETERAS

El primer paso que debemos realizar es extraer los usos del suelo por cada una de las coronas de distancia y para el conjunto de las carreteras.

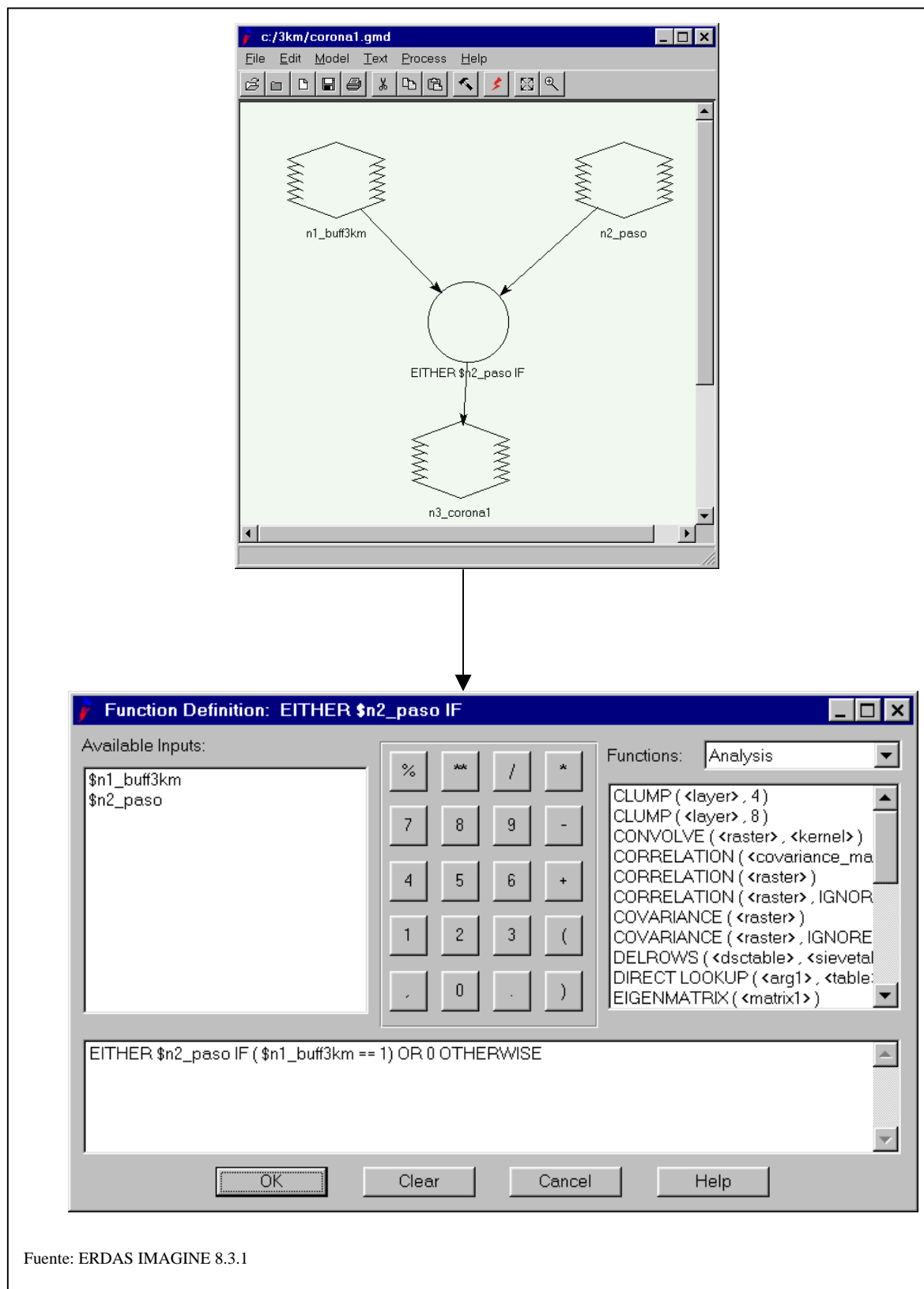
La diferenciación de usos del suelo por coronas de distancia debe realizarse extrayendo los usos correspondientes a las diferentes coronas; es decir, debemos combinarse el fichero de las coronas de distancia con el fichero de los usos del suelo en torno a las carreteras.

Este proceso se realiza en ERDAS IMAGINE mediante un modelo elaborado con el *MODEL MAKER* en el cual la función queda definida de la siguiente forma: el programa extrae el fichero de cambios de usos del suelo en las carreteras sólo si coincide con la corona 1, es decir, con los primeros 3 Km. Si esta condición no se cumple el programa pone el valor 0. La figura nº 72 ilustra este proceso.

Este proceso debe repetirse 29 veces debido a que son 29 las coronas en que se subdivide la Comunidad de Madrid. Nosotros únicamente detallamos el proceso realizado con la primera corona.

El resultado para todas las carreteras después de añadir el correspondiente nombre de clase y la paleta de color más adecuada aparece reflejado en los mapas nº 59 a nº 86. El resultado final de la suma de todas las coronas coincide con el mapa realizado anteriormente de cambios totales de usos del suelo en torno a las carreteras. En estos mapas no se ha incluido leyenda porque nos interesa evaluar cambios totales y no tipo de cambios. No hemos mantenido la escala de representación en los 29 mapas porque hemos considerado mejor adaptar la escala al espacio a representar.

Figura N° 72: Extracción de usos del suelo por coronas de distancia.

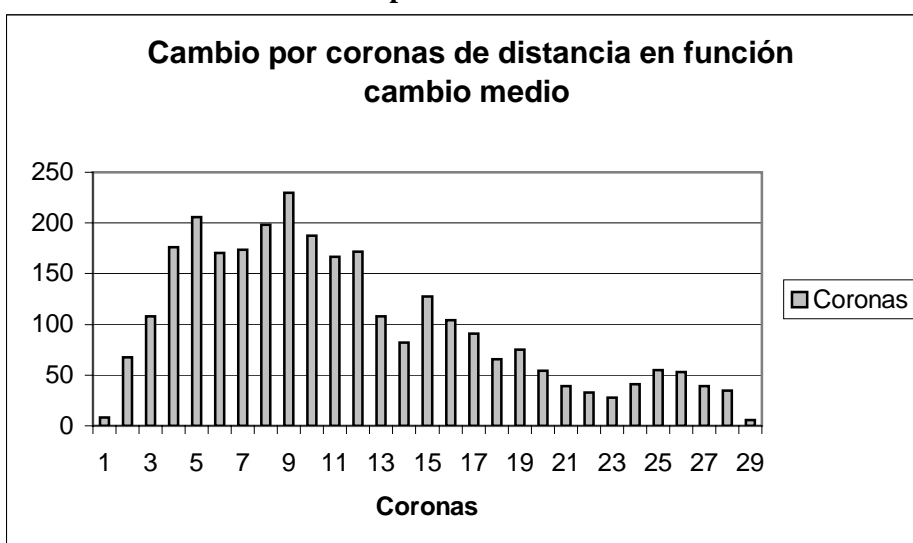


Fuente: ERDAS IMAGINE 8.3.1

El Anexo 11 muestra de manera estadística los resultados de todos estos cambios. El cambio medio se ha realizado teniendo en cuenta el total de cambios y dividiendo entre 29 que es el número de coronas (ejemplo : $301.371/29=10392$). A partir de este cambio medio, se establece un coeficiente de cambio por corona (CCC) de la siguiente forma: Cambio medio=10392 esta cantidad es 100; si el total de cambios primera corona es 859, el coeficiente de cambio en la primera corona es 8,27.

El gráfico nº 60 refleja el resultado de estos cambios. En él se puede observar que el cambio aumenta progresivamente para el conjunto total de las carreteras desde la primera corona (0,29%) hasta la quinta corona, es decir hasta los 12-15 Km. (7,10%) que es uno de los puntos de cambio más elevados. A partir de aquí, se produce un leve descenso (5,88%) reflejado en las dos coronas siguientes, es decir, entre los 15-21 Km. En la Corona 8 (21-24 Km) los cambios vuelven a aumentar hasta el punto más elevado que se alcanza en la corona 9 (7,92%) entre los 24-27 Km.

Gráfico N° 60: Cambio medio por coronas



Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los 27 Km (corona N° 9) los cambios totales empiezan a descender progresivamente hasta la corona 14 (39-42 Km). La corona 15 supone un punto en el cual vuelve a producirse un aumento (4,40%). A partir de aquí se produce un descenso paulatino hasta llegar a la corona 23 (66-69Km) en la cual se produce una recuperación del crecimiento que se mantienen constante hasta el final.

Los cambios más importantes para el conjunto de las carreteras, se producen entre la corona 3 y la corona 12, es decir, entre los 6 y los 36 Km. Los espacios más cercanos al centro son espacios muy consolidados en los cuales no se producen apenas transformaciones. Por el contrario, una vez superados los primeros 6 kilómetros es cuando empiezan a observarse transformaciones en el espacio.

- **Conclusiones del análisis de los cambios de usos del suelo en función de la distancia para el conjunto de las carreteras**

La metodología elaborada en este apartado, permite comprobar la existencia o ausencia de pautas generales en los cambios de usos del suelo, en función de la distancia al centro de la capital, pero sin tener en cuenta las características específicas de cada una de las carreteras.

La metodología realizada ha sido un proceso bastante laborioso en el cual se han combinado análisis propios de Sistemas de Información Geográfica (extracción de usos del suelo por coronas) y análisis estadísticos (cambios medios y coeficiente de cambio por corona “CCC”).

Las conclusiones de la aplicación de esta metodología a la Comunidad de Madrid indican que los espacios más cercanos al centro son espacios afianzados en los cuales las transformaciones globales prácticamente no se producen.

Los espacios más dinámicos se sitúan a partir de 6-9 Km de distancia al centro y hasta aproximadamente los 36 Km; en este espacio, se sitúan los municipios de la primera, segunda y tercera aureola de expansión de la Madrid, que es donde se concentra la mayor parte de la población y las principales actividades productivas de la Comunidad.

En este apartado hemos teniendo en cuenta cambios totales, es decir, no sólo los cambios a uso urbano. Por ello esta zona a pesar de ser la más dinámica, desde el punto de vista urbano (la mayor parte de las nuevas construcciones urbanísticas se sitúan en esta franja), también lo es desde el punto de vista del resto de los usos fundamentalmente agrícolas (secanos y regadíos) y los ocupados por vegetación natural de menor importancia, que también están sufriendo importantes transformaciones en esta zona como consecuencia de la propia dinámica de la ciudad.

Los resultados obtenidos pueden no reflejar exactamente la realidad de todos los espacios situados en torno a las carreteras debido a que se ha tenido en cuenta el conjunto de todas las carreteras y no todas empiezan en las primeras coronas; lo que supone que se producen cambios en las seis carreteras en las primeras coronas, ni todas las carreteras tienen todas las coronas (las 29). Este problema lo hemos intentado evitar utilizando cambios medios, pero consideramos que se obtienen una mejor perspectiva de la realidad analizando individualmente cada carretera.

5.4. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA INDIVIDUALIZADO POR CARRETERAS

El objetivo de este apartado es el análisis de los cambios en función de la distancia en cada una de las carreteras. Este apartado se va a desarrollar mediante la generación y análisis de cartografía.

La generación de estos mapas es una labor bastante larga, pero el proceso seguido es el mismo para todas las carreteras. Por esta razón, vamos a explicar únicamente y de forma lo más completa posible el proceso seguido con una sola carretera porque con las restantes sería igual.

La única variación entre las carreteras radica en el número de coronas; no todas las carreteras tienen las 29 coronas. El número total de coronas por carretera es:

- Carretera de BURGOS 29 Coronas.
- Carretera de BARCELONA 13 Coronas.
- Carretera de VALENCIA 21 Coronas.
- Carretera de ANDALUCIA 11 Coronas.
- Carretera de EXTREMADURA 12 Coronas.
- Carretera de LA CORUÑA 18 Coronas.

La carretera seleccionada como ejemplo es la carretera de Burgos y las fases realizadas para el desarrollo de este apartado son:

1. Extracción usos del suelo por corona en cada carretera.
2. Ponderación.
3. Recodificación
4. Suma de coronas
5. Suma de carreteras.

1. Extracción usos del suelo por coronas

La primera fase que debemos realiza es la extracción de los usos del suelo por coronas en la carretera de Burgos. Esto se consigue mediante un modelo realizado con el *MODEL MAKER* de ERDAS IMAGINE (figura nº 73a). Para ello debemos utilizar el fichero de coronas y el fichero de cambios de usos de suelo en la carretera de Burgos.

El resultado para la cuarta corona (en las tres primeras no se producen cambios) una vez añadida la paleta de color correspondiente, queda reflejado en la figura nº 73b. Este proceso debe repetirse tantas veces como coronas de 3Km. existan en cada carretera.

Los resultados estadísticos de estos cambios para cada una de las carreteras aparecen reflejados en los Anexos 12 a 17.

Figura Nº 73a: Extracción de usos del suelo por coronas en la carretera de Burgos

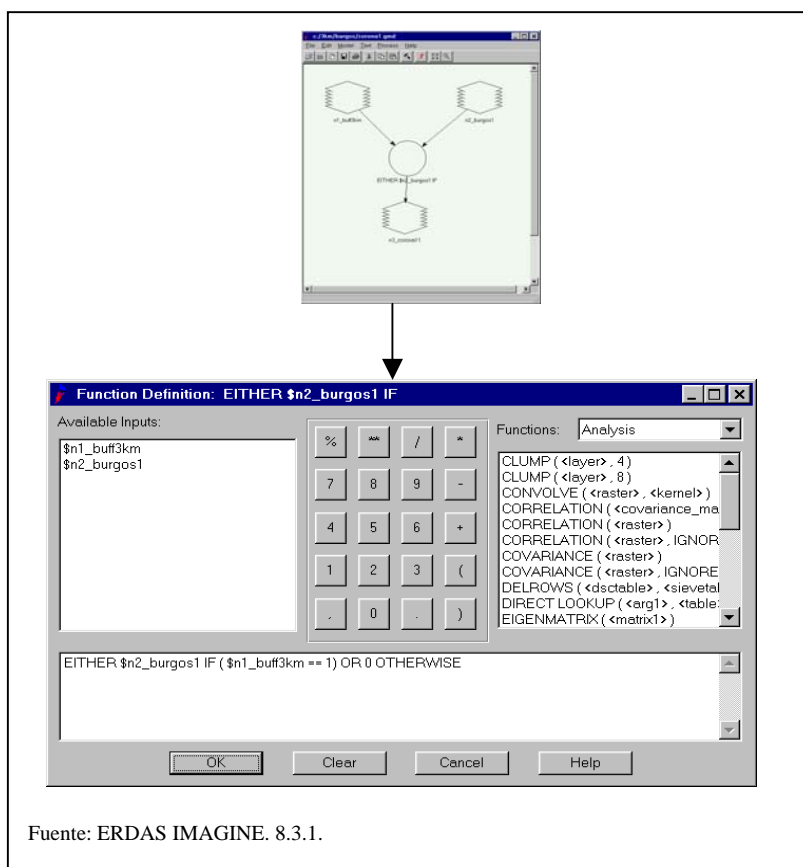
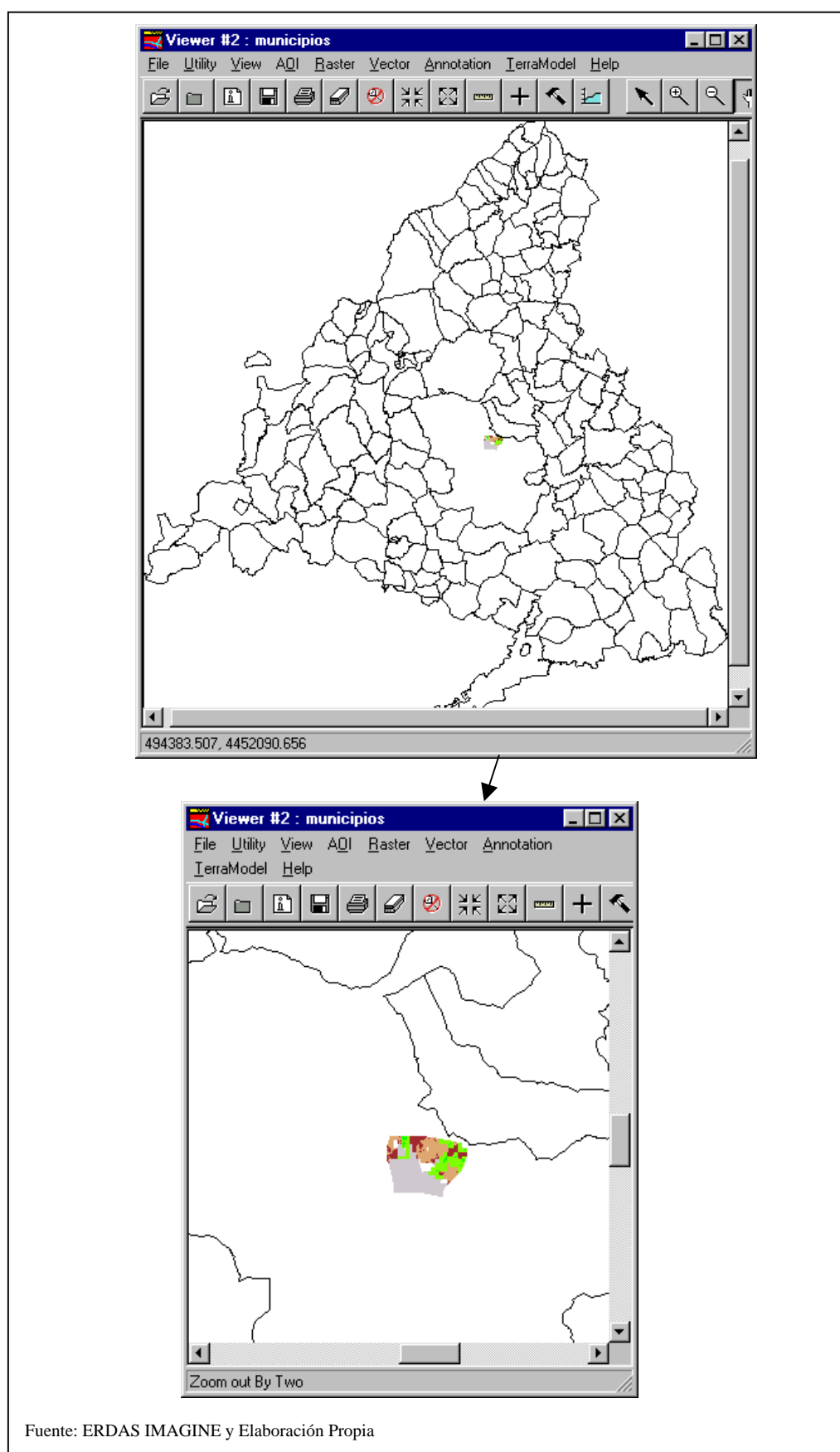


Figura N° 73b: Usos del suelo en la cuarta corona de la carretera de Burgos



2. Ponderación.

El siguiente paso consiste en establecer una ponderación de los cambios. Este proceso podría haber resultado muy laborioso de no contar con el software apropiado. Nosotros debíamos generar una hoja de cálculo del total de cambios por corona en cada carretera, según los datos de cada uso que nos parecen en el fichero de imagen de ERDAS IMAGE.

Los ficheros procedentes de ERDAS IMAGE no tienen salida directa a ninguna hoja de cálculo. Esto se pudo realizar a través del software MapSheets (Ver especificaciones en el capítulo 2). Este software al ser un producto de la casa ERDAS, permite visualizar y trabajar directamente con ficheros raster y vectoriales procedentes de ERDAS IMAGE y además lo más importante para nosotros es que la tabla de atributos en MapSheets es Excel, lo que permite leer, editar, operar y generar tablas de datos sólo copiando y pegando.

El criterio de ponderación de los cambios es el siguiente:

- 150 y más = 1
- 125-149,99 = 2
- 100-124,99 = 3
- 75 – 99,99 = 4
- 50 – 74,99 = 5
- menos de 50 = 6

El significado de los diferentes datos que aparecen en las tablas es el siguiente:

- TOTAL: Total de pixels en la primera corona
- CAMBIOS: Total de pixels que cambian en cada corona
- %TOTAL CAMBIOS: Porcentaje total de cambios
- % TOTAL: Cambios en cada corona con respecto al total de cambios.

- **TOTAL/CAMBIO:** Porcentaje de cambios por corona con respecto al total de píxeles.
- **NORMALIZACIÓN:** El porcentaje total de cambio en la carretera de Burgos es 50,88% y el porcentaje de cambio en la corona número 4 es 34,58%. La normalización se establece determinando que supone ese porcentaje de cambio en la corona 4 (34,58) con respecto al porcentaje total de cambio en toda la carretera (50,88%).
- **VALOR:** Es el valor según el criterio de ponderación.

Los resultados de estas ponderaciones para cada carretera aparecen reflejados en los Anexos 18 a 23.

3. Recodificación.

En función de la ponderación realizada en la fase anterior, se recodifican todas las coronas una a una con el criterio anteriormente señalado, es decir, cada corona ahora tienen un único valor, que representa la intensidad de los cambios. El proceso de recodificación se realiza a través de ERDAS IMAGINE y ya fue explicado anteriormente.

Existe una peculiaridad en este proceso de recodificación. Debe recodificarse con un sólo valor exclusivamente las clases que representen un cambio de uso del suelo y no todas las clase que aparecen en el fichero correspondiente a las coronas (en este aparecen cambios y no cambios); por ello, deben saberse con antelación los números de clase que representan las clases que cambian. A las clases que cambian se les adjudicará un nuevo valor, el correspondiente a la normalización o recodificación y al resto de clase que no cambian, se les pondrá el valor cero.

El resultado para la cuarta corona de la carretera de Burgos que tenía un valor 5 en la recodificación (normalización) aparece reflejado en la figura nº 74. Este proceso debe repetirse para todas las coronas de todas y cada una de las carreteras.

4. Suma de coronas.

Una vez realizada la recodificación de todas las coronas debemos sumar todo este proceso de recodificación para que aparezca la carretera completa y poder evaluar los cambios en el total de la carretera y no por coronas.

Para ello volvemos a programar un modelo con el *MODEL MAKER*. Modelo que hay que repetir tantas veces como coronas existan en cada carretera (29 en la de Burgos). La función del modelo queda definida únicamente por la suma de los ficheros de coronas recodificados (figura nº 75)

El resultado final para la carretera de Burgos aparece reflejado en el mapa nº 88-1 y 2.

Recordemos que todo el proceso explicado para la carretera de Burgos hay que repetirlo para cada corona y para cada carretera. El resultado para el resto de las carreteras aparece en los siguientes mapas: mapa 89-1 y 2, 90-1 y 2, 91-1 y 2, 92-1 y 2, 93-1 y 2.

Figura N° 74: Recodificación de la cuarta corona de la carretera de Burgos

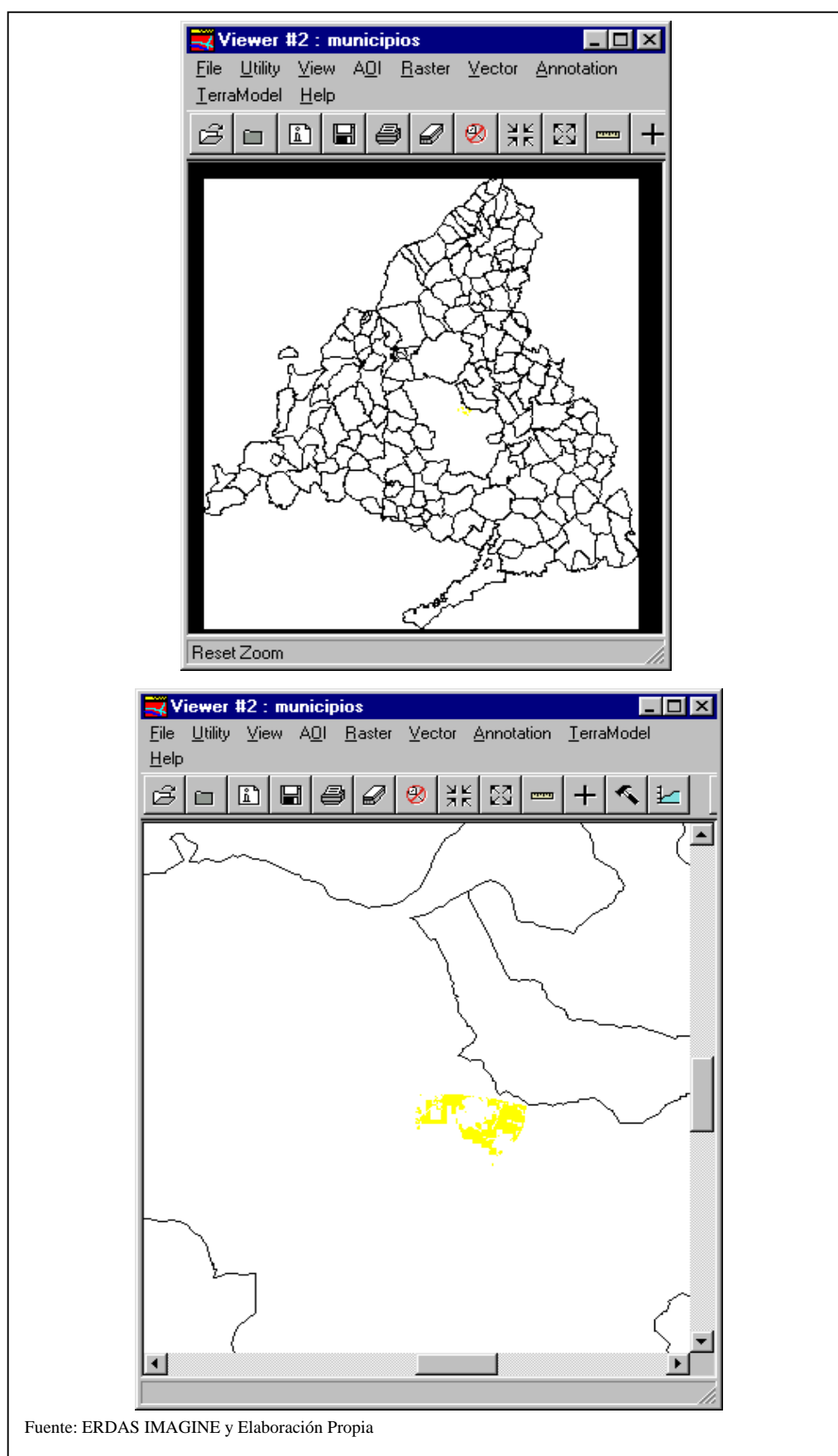
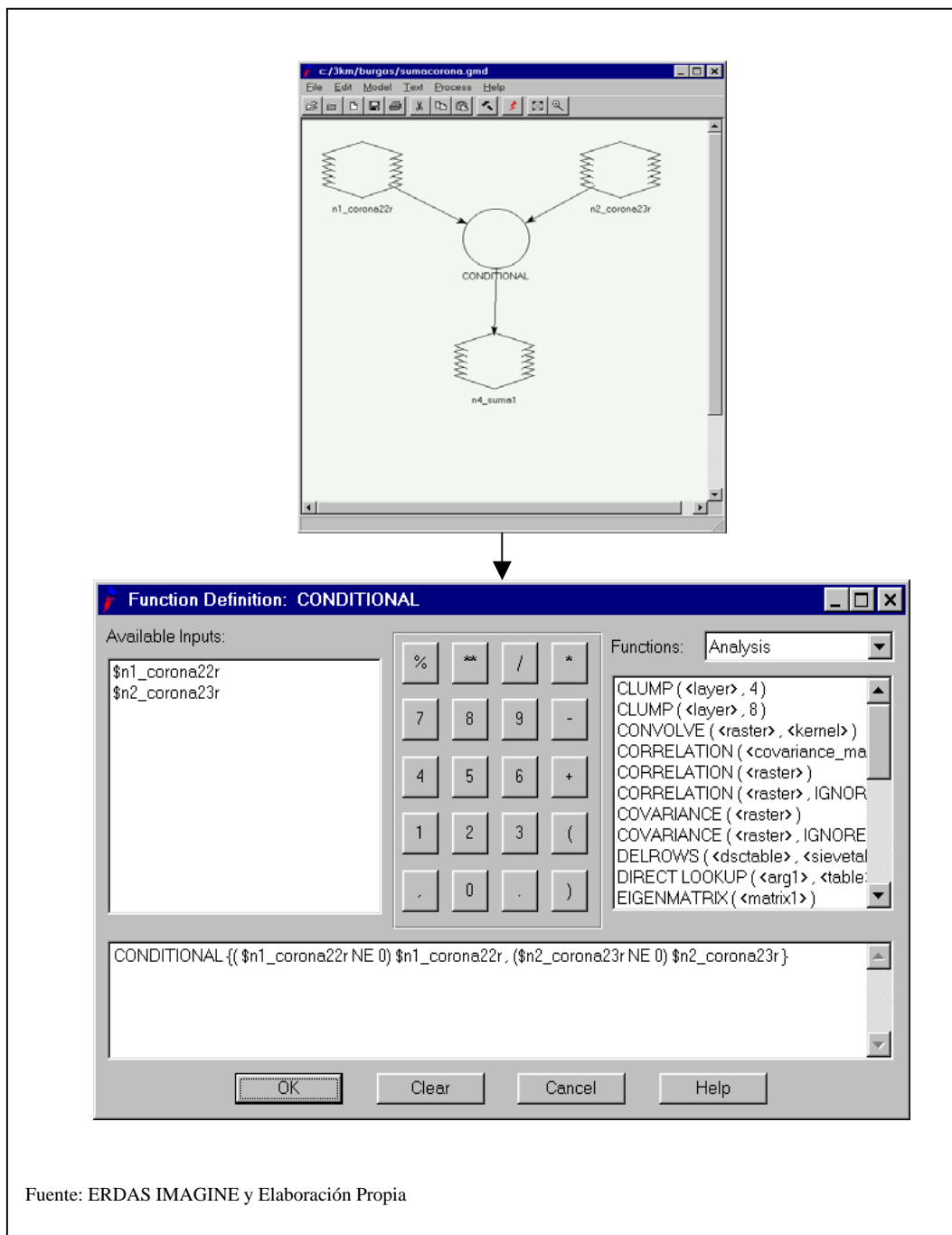


Figura N° 75: Suma de coronas de la carretera de Burgos



5. Suma de carreteras

Por último debemos conseguir un mapa final que integre los resultados obtenidos para las diferentes carreteras.

Esto se realiza a través de un modelo realizado con el del *MODEL MAKER*, (figura nº 76) en el cual la función queda definida por la suma de los ficheros totales de cada una de las carreteras. El proceso debe repetirse tantas veces como carreteras existen, en este caso seis. El resultado final se muestra en los mapas nº 94 y nº 95. La tabla nº 24 resume los resultados de las ponderaciones para cada una de las coronas en las diferentes carreteras.

Figura N° 76: Suma carreteras

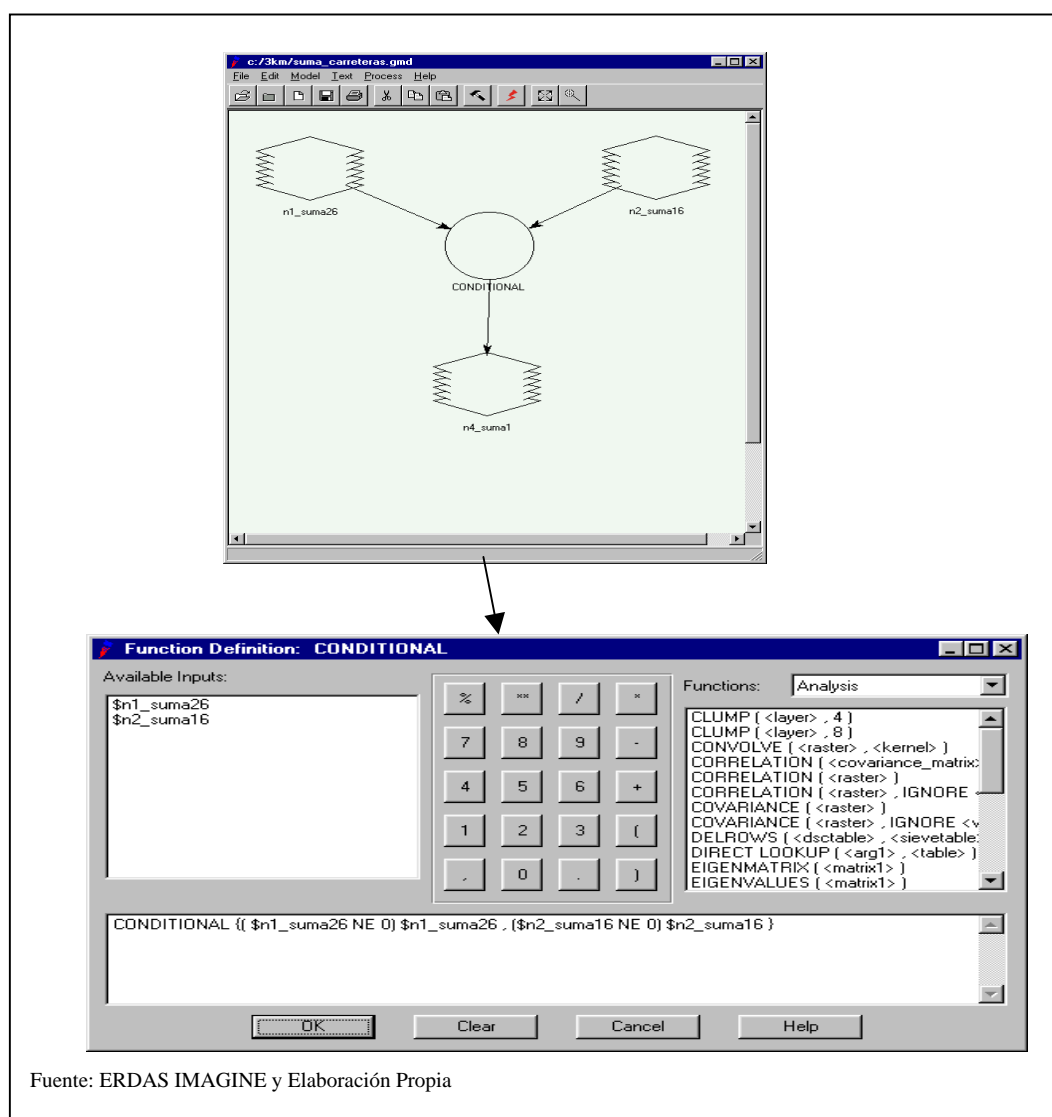


Tabla N° 24: Cambios totales por coronas y carreteras ponderados

CAMBIOS TOTALES POR CORONAS Y CARRETERAS PONDERADOS

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|
| CORONA1 (0-3Km) | | | 6 | 5 | 6 | |
| CORONA2 (3-6Km) | | 6 | 5 | 4 | 4 | 6 |
| CORONA3 (6-9Km) | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| CORONA4 (9-12Km) | 5 | 3 | 4 | 4 | 1 | 5 |
| CORONA5 (12-15Km) | 4 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| CORONA6 (15-18Km) | 4 | 5 | 1 | 4 | 3 | 4 |
| CORONA7 (18-21Km) | 4 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| CORONA8 (21-24Km) | 4 | 4 | 2 | 4 | 1 | 2 |
| CORONA9 (24-27Km) | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| CORONA10 (27-30Km) | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| CORONA11 (30-33Km) | 2 | 3 | 3 | 5 | 6 | 3 |
| CORONA12 (33-36Km) | 2 | 1 | 2 | | 5 | 5 |
| CORONA13 (36-39Km) | 3 | 1 | 5 | | | 5 |
| CORONA14 (39-42Km) | 4 | | 5 | | | 4 |
| CORONA15 (42-45Km) | 4 | | 5 | | | 1 |
| CORONA16 (45-48Km) | 4 | | 5 | | | 3 |
| CORONA17 (48-51Km) | 5 | | 4 | | | 3 |
| CORONA18 (51-54Km) | 3 | | 4 | | | 2 |
| CORONA19 (54-57Km) | 3 | | 2 | | | |
| CORONA20 (57-60Km) | 4 | | 6 | | | |
| CORONA21 (60-63Km) | 4 | | 6 | | | |
| CORONA22 (63-66Km) | 4 | | | | | |
| CORONA23 (66-69Km) | 4 | | | | | |
| CORONA24 (69-72Km) | 3 | | | | | |
| CORONA25 (72-75Km) | 1 | | | | | |
| CORONA26 (75-78Km) | 1 | | | | | |
| CORONA27 (78-81Km) | 3 | | | | | |
| CORONA28 (81-84Km) | 3 | | | | | |
| CORONA29 (84-87Km) | 1 | | | | | |

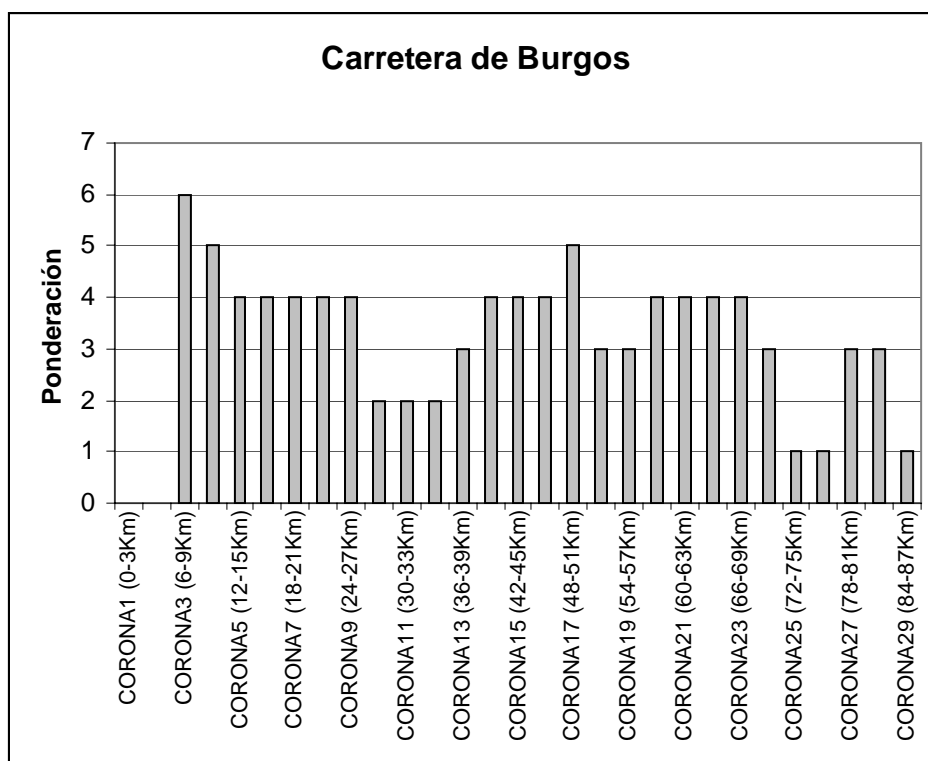
Fuente: Elaboración Propia

- ✓ **El análisis de los cambios por coronas ponderados en la carretera de Burgos** se basa en los mapas nº 88-1 y 2 en la tabla nº 24 y en el gráfico nº 61¹⁶.

Los Cambios totales de usos del suelo en la carretera de Burgos indican que en las 4 primeras coronas (0-12 Km) los cambios no existen o son prácticamente inapreciables. Estos cambios empiezan a aumentar (75-100%) y se mantienen constantes desde la corona 5 hasta la corona 9 (12-27 Km) correspondiendo con los municipios de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes.

Desde la corona 10 hasta la corona 12 (27-36Km) los cambios experimentan un fuerte aumento (125-150%) y se corresponden con San Agustín de Guadalix y El Molar.

Gráfico Nº 61: Cambios totales ponderados en la carretera de Burgos.



Fuente: Elaboración Propia

¹⁶ En todos los gráficos de ponderaciones los valores más elevados (1) son visualmente los representados por las barras más bajas.

En la corona 13 (30-33 Km) y hasta la corona 17 los cambios comienzan a descender manteniéndose con un nivel similar (75-100%) a los cambios apreciados entre las coronas 5 y 9; se corresponde con los términos municipales de Pedrezuela, Venturada Cabanillas de la Sierra y parte de La Cabrera.

Las coronas 18 y 19 (51-57 Km) vuelven a suponer un incremento (100-125%) en los cambios aunque no tan fuerte como los experimentados entre las coronas 10 y la corona 12 coincidiendo con los términos de la Cabrera y Lozoyuela.

A partir de la corona 20 y hasta la 23 (57-69 Km) los cambios vuelven a descender (75-100%) situándose en el nivel de las anteriores coronas, municipios de Lozoyuela y Buitrago del Lozoya.

A partir de la corona 24 (69-72 Km) los cambios vuelven a aumentar y hasta la corona 26 (75-78 Km). Es en estos kilómetros en los que se produce el cambio más fuerte en toda la carretera (+150%); se corresponde con los términos municipales de Gascones y Horcajo de la Sierra.

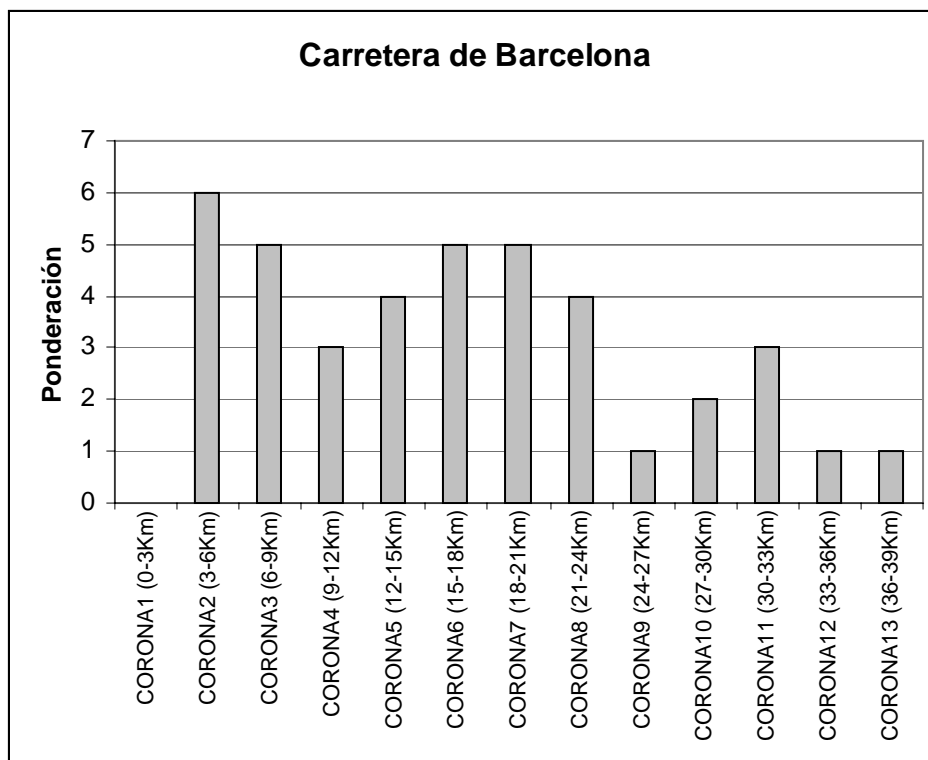
A partir de la corona 27, 78 Km y hasta el final (no tenemos en cuenta la última corona porque al ser más pequeña los resultados salen desvirtuados) los cambios vuelven a descender aunque este el nivel de descenso no llega a la tónica general de los cambios (100-125%)

- ✓ **El análisis de los cambios por coronas ponderados en la carretera de Barcelona** se basa en los mapas nº 89-1 y 2 en la tabla nº 24 y en el gráfico nº 62.

En la carretera de Barcelona no se producen cambios o son muy poco representativos en las dos primeras coronas (0-6 Km). En la corona 4 (9-12 Km) se produce un fuerte crecimiento (100-125%) coincidiendo el final del municipio de Madrid, que se va viendo atenuado hasta la corona 8 (12-24 Km). Corresponde al límite entre los municipios de Torrejón de Ardoz y Alcalá de Henares.

El fuerte crecimiento en esta carretera se produce a partir de la corona 9 (24-27 Km) que junto con las dos últimas, corona 12 y 13 (33- 39 Km), son las que presentan el crecimiento más elevado (+150%). Corresponde a los municipios de Alcalá y Santos de la Humosa.

Gráfico N° 62: Cambios totales ponderados en la carretera de Barcelona.

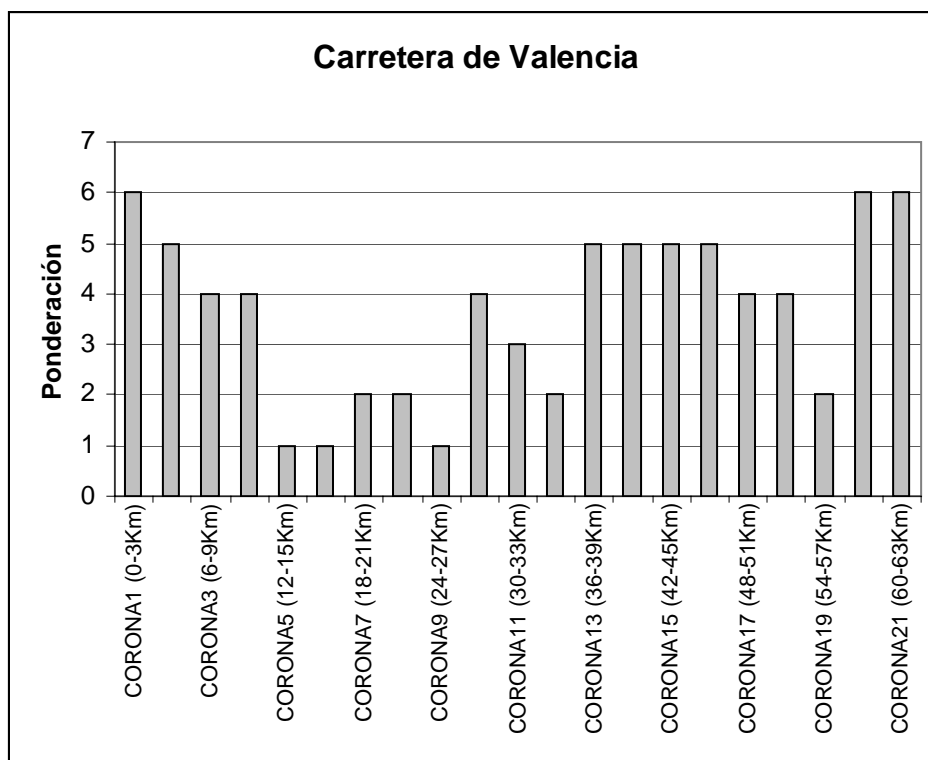


Fuente: Elaboración Propia

- ✓ **El análisis de los cambios por coronas ponderados en la carretera de Valencia** se basa en los mapas nº 90-1 y 2 en la tabla nº 24 y en el gráfico nº 63.

la intensidad de los cambios aumenta a medida que nos alejamos del centro desde la corona 1 hasta la corona 6 (0-15 Km). La corona 6 junto con la anterior es la que sufre el mayor nivel de transformación de toda la carretera (+150 %). Se produce un descenso relativo (125-150 %) entre la corona 7 y la 8 (18-24 Km) para volver a los niveles anteriores en la corona 9 (24-27 Km). En la corona 10 (27-30 Km) los cambios descienden (100-125 %) con respecto a las coronas anteriores y posteriores. A partir de la corona 13 los cambios descienden bruscamente (50-75 %) manteniéndose constantes hasta la corona 16, es decir, desde el kilómetro 36 hasta el 48. En este punto se produce una breve recuperación hasta la corona 19 (54-57 Km) y a partir de aquí los cambios disminuyen hasta el final.

Gráfica Nº 63: Cambios totales ponderados en la carretera de Valencia.



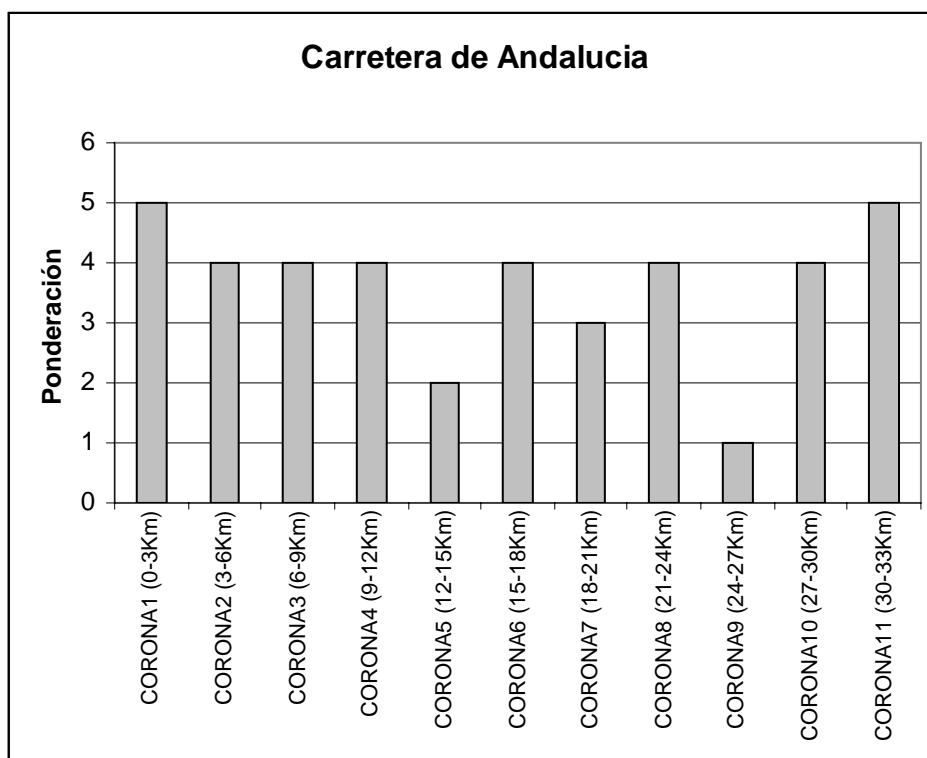
Fuente: Elaboración Propia

- ✓ **El análisis de los cambios por coronas ponderados en la carretera de Andalucía** se basa en los mapas nº 91-1 y 2 en la tabla nº 24 y en el gráfico nº 64.

En esta carretera lo primero que observamos es que los cambios no son tan fuertes como en las carreteras anteriores.

Los cambios se mantienen constantes y no muy elevados (75-100%) en las cuatro primeras coronas (0-12 Km). Existe un incremento (125-150 %) importante en la corona 5 (12-15 Km) y vuelve a producirse un descenso llegando a los niveles anteriores en la corona 6 (15-18 Km) y 8ª (21-24 Km). La corona 7ª (18-21 Km) supone también un aumento de en la intensidad de los cambios (100-125%), produciéndose el nivel más elevado (+150%) en la corona 9 (24-27 Km). A partir de esta corona los cambios descienden hasta el final.

Gráfico Nº 64: Cambios totales ponderados en la carretera de Andalucía.

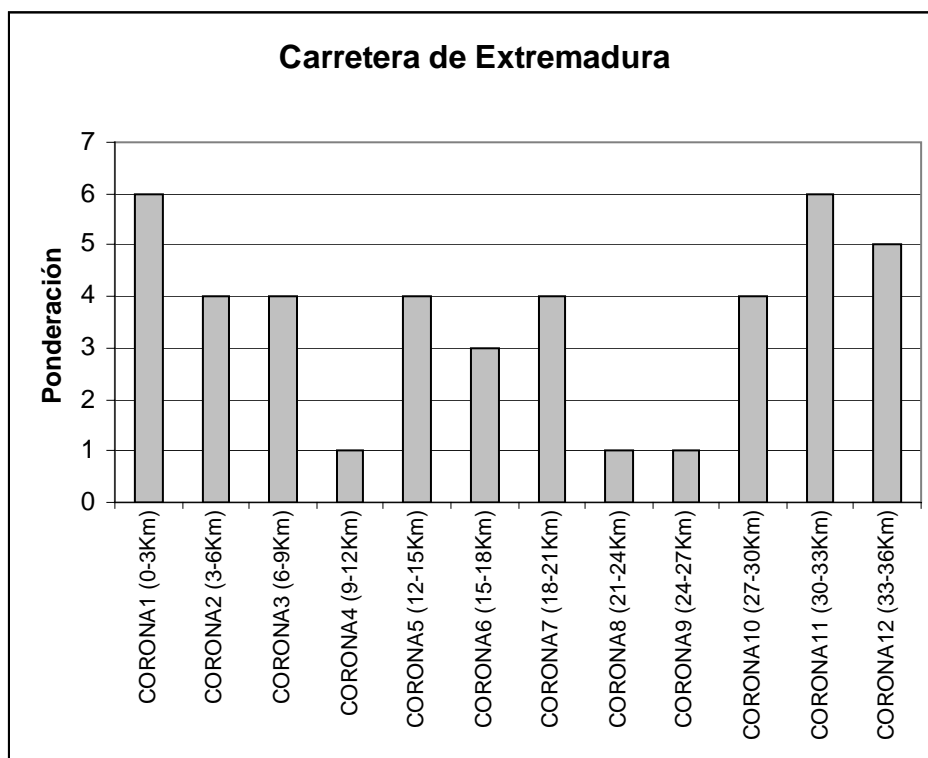


Fuente: Elaboración Propia

- ✓ **El análisis de los cambios por coronas ponderados en la carretera de Extremadura** se basa en los mapas nº 92-1 y 2 en la tabla nº 24 y en el gráfico nº 65.

En esta carretera se presentan grandes desigualdades en cuanto a la intensidad de los cambios. En la corona 1 (0-3 Km) no se experimentan cambios significativos, empezando a aumentar desde la corona 2 hasta la corona 4 (3-12 Km); en esta última es donde el incremento es mayor (+150%). A partir de este punto se produce un descenso y los niveles de cambio se mantienen constantes (75-100%) y en el mismo nivel que en las coronas 2 y 3. Las coronas 8 y 9 (21-27 Km) experimentan un crecimiento elevado (+150%), descendiendo a partir de aquí hasta el final.

Gráfico Nº 65: Cambios totales ponderados en la carretera de Extremadura.

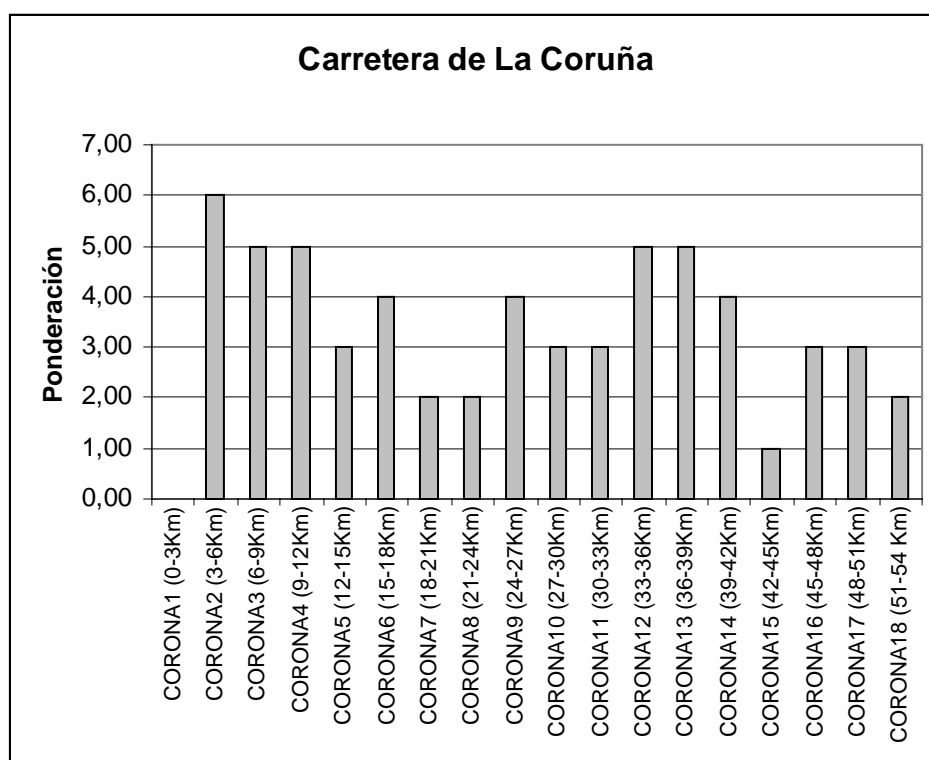


Fuente: Elaboración Propia

- ✓ **El análisis de los cambios por coronas ponderados en la carretera de La Coruña** se basa en los mapas nº 93-1 y 2, en la tabla nº 24 y en el gráfico nº66.

En esta carretera también se producen grandes desequilibrios. En las dos primeras coronas (0-6 Km) los cambios son inexistentes o poco significativos. Los cambios empiezan a aumentar aunque no son muy elevados en las coronas 3 y 4 (6-12 Km) manteniéndose con unos niveles constantes (50-75%). La corona 5 (12-15Km) supone un incremento (100-125 %) que vuelve a descender en la corona siguiente, la 6 (16-18 Km). Las coronas 7 y 8 (18-24 Km) representan uno de los puntos de mayor intensidad (125-150%) de la carretera. A partir de la corona 9 los cambios descienden hasta la corona 11 (24-33 Km) y vuelven a descender bruscamente (50-75%) en las coronas sucesivas 12-14 (33-42 Km). El mayor nivel de transformación en esta carretera (+150%) se produce en la corona 15 (42-45 Km); a partir de aquí se produce un descenso (100-125%) aunque sin llegar a los niveles de coronas anteriores.

Gráfico Nº 66: Cambios totales ponderados en la carretera de La Coruña.



Fuente: Elaboración Propia

- El gráfico nº 67 no refleja la existencia de grandes regularidades en el conjunto de las carreteras en función de los cambios totales; pero si existen grupos de carreteras que se comportan de forma similar en determinadas coronas.

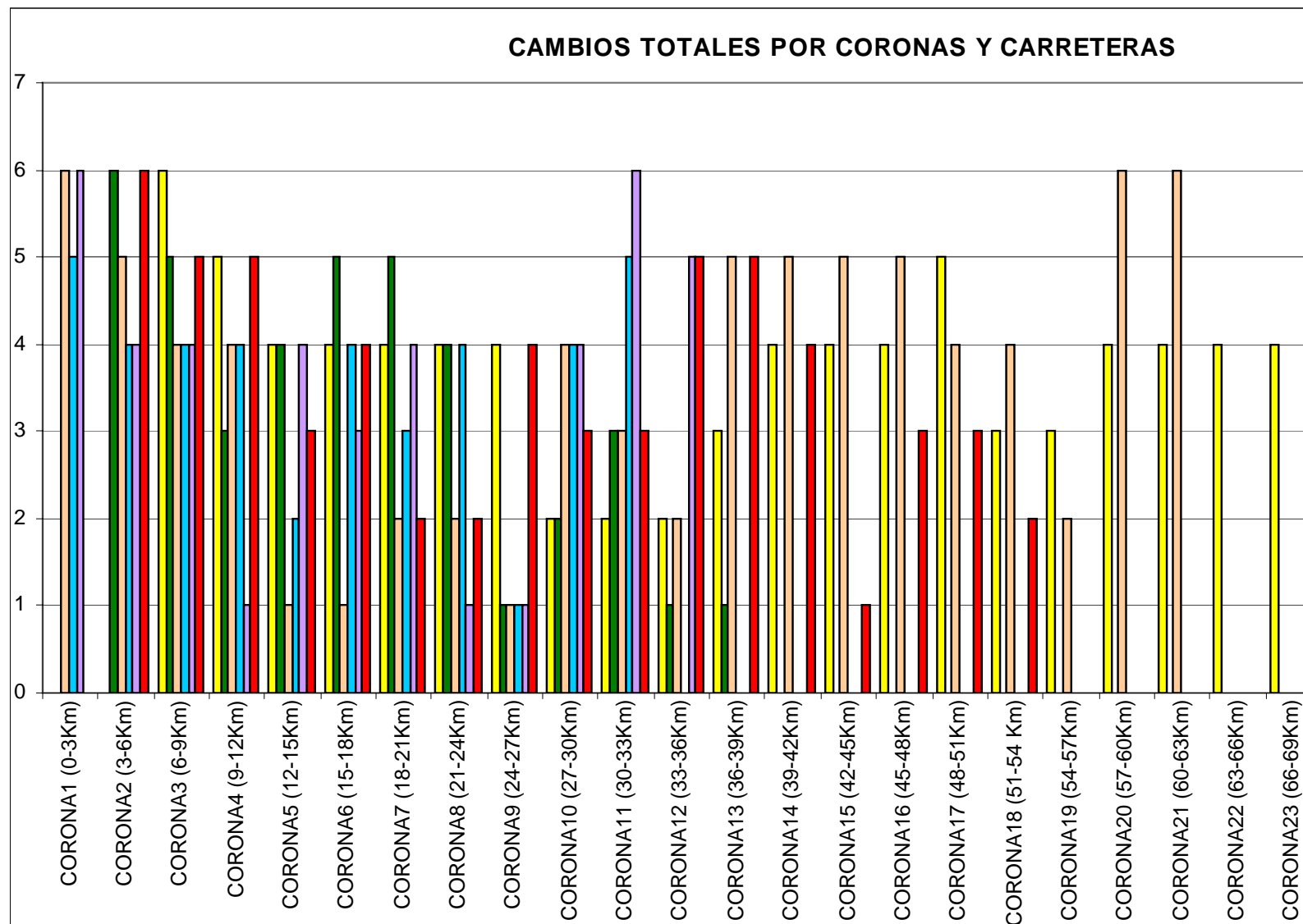
La corona 1 (0-3Km) no se encuentra afectada por cambios en todas las carreteras y los experimentados son muy pocos y similares en cuanto a la intensidad; en el nivel 5 está la carretera de Andalucía y en el nivel 6 las carreteras de Valencia y Extremadura.

La corona 2 (3-6Km) también presenta cambios de poca intensidad en todas las carreteras. Las carreteras de Andalucía y Extremadura son las que tienen un mayor nivel (4) seguidas por la de Valencia (5) y por ultimo están las carreteras de La Coruña y Barcelona con un nivel 4.

La corona 3 (6-9Km) tiene unos niveles de cambios similares a la corona anterior. Las carreteras de Andalucía, Extremadura y Valencia son las que tienen un nivel mayor (4) al igual que ocurre en la corona anterior. Las carreteras de La Coruña y Barcelona (igual que en la corona anterior) se encuentran en el mismo nivel de cambio, aunque en esta corona el cambio ha aumentado a nivel 6. Por último está la carretera de Burgos con un nivel 6.

La corona 4 (9-12Km) presenta ya una mayor heterogeneidad en los cambios en función de las carreteras. El nivel más alto de cambios se encuentra representado por la carretera de Extremadura (1), seguida de la de Barcelona con un nivel 3, las carreteras de Andalucía y Valencia mantienen la tendencia con respecto a la corona anterior con un nivel 4 de cambio y finalmente están las carreteras de La Coruña y Burgos (5).

CAMBIOS TOTALES POR CORONAS Y CARRETERAS



La corona 5 (12-15Km) muestra un grupo de carreteras formado por las de Burgos, Barcelona y Extremadura en las cuales el nivel de cambios es 4, con nivel 3 está la de La Coruña, con 2 la de Andalucía y con 1 la de Valencia.

La corona 6 (15-18Km) presenta también una gran heterogeneidad en los cambios, destacando un grupo de carreteras que presentan el mismo nivel de cambio (4) formado por las carreteras de Burgos, Andalucía y La Coruña.

La corona 7 (18-21) diferencia un nivel de cambio elevado (2) en las carreteras de Valencia y La Coruña; a continuación con nivel 3 está la carretera de Andalucía. Las carreteras de Burgos y Extremadura presentan un nivel 4 de cambios y por último la de Barcelona tiene un nivel 5.

En la corona 8 (2-24Km) empieza a producirse una mayor homogeneidad en los cambios que se mantiene en las siguientes coronas. Las carreteras de Burgos, Barcelona y Andalucía tienen un nivel 4 de cambio. Un segundo grupo está formado por las carreteras de Valencia y La Coruña (2) y por último se encuentra la de Extremadura con el nivel más intenso (1).

La corona 9 (24-27Km) es la más homogénea de todas, diferenciándose únicamente dos grupos, uno formado por las carreteras de Barcelona, Valencia Extremadura y Andalucía con el nivel más intenso de cambios (1) y un segundo grupo formado por las carreteras de La Coruña y Burgos con nivel 4.

En la corona nº 10 (27-30 Km) se diferencian tres grupos: uno formado por las carreteras de Burgos y Barcelona con un nivel alto de cambios (2), en segundo lugar está la carretera de La Coruña (6) y por último un tercer grupo formado por las carreteras de Valencia, Andalucía y Extremadura (4)

A partir de la corona 11 (30-33 Km) la homogeneidad desaparece; tan sólo mantienen un nivel igual de cambios (3) las carreteras de Barcelona, Valencia y la Coruña.

En la corona 12 (33-36Km) la carretera de Andalucía ya ha desaparecido y los cambios se encuentran distribuidos entre la carretera de Barcelona (2) las de Burgos y Valencia (2) y las de Extremadura y la Coruña (5).

En la corona 13 (36-39Km) desaparece la carretera de Extremadura y los cambios se concentran en la carretera de Barcelona con un nivel muy intenso (1) al igual que en la corona anterior, la de Burgos (3) y las carreteras de Valencia y la Coruña con nivel 5.

En la corona 14 (39-42Km) desaparece la carretera de Barcelona. Los cambios se concentran en las carreteras de Burgos y la Coruña con un nivel 4 y en la de Valencia con nivel 5.

A partir de la corona 15 (42-45 Km), no existe ninguna carretera que se comporte de forma similar a otra. Hasta la corona 18 encontramos las tres carreteras mencionadas anteriormente, pero a partir de la corona 19 (54-57 Km) y hasta la corona 21 (60-63 Km) tan sólo aparecen las carreteras de Valencia y Burgos y a partir de la corona 22 (63-66 Km) únicamente la de Burgos.

- **Conclusiones análisis de los cambios de usos del suelo en función de la distancia en cada una de las carreteras.**

Este apartado se ha basado en el diseño de una metodología que permite en primer lugar detectar los cambios de usos del suelo producidos en cada una de las carreteras de la Comunidad de Madrid en función de la distancia al centro de la capital y en segundo lugar en la ponderación de los cambios en función de la distancia.

El resultado final obtenido no refleja diferentes tipos de cambios de usos del suelo, sino que muestra únicamente la intensidad.

La metodología se ha realizado mediante análisis propios de sistemas de Información Geográfica (extracción de usos por corona en cada una de las carreteras, recodificación de coronas, suma de coronas, etc.) y mediante un proceso estadístico de normalización y posterior ponderación de los resultados obtenidos.

La explicación de los resultados obtenidos para las diferentes carreteras nos muestra los tramos que presentan un mayor o menor grado de actividad o dinamismo, pero no explica la causa ya que no se tienen en cuenta los diferentes cambios de usos del suelo, sino los cambios totales.

El dinamismo puede deberse a la expansión urbana, a espacios agrícolas que están siendo transformados, o a espacios con vegetación que bien se está regenerando o por el contrario se está degradando.

✓ **La carretera de Burgos**

Esta carretera presenta sus espacios más dinámicos concentrados en dos tramos: en los últimos kilómetros de esta carretera en la comunidad de Madrid y entre los kilómetros 27-36 Km.

Ambos espacios no están ocupados por municipios con gran expansión urbana, con lo cual el dinamismo debe buscarse en otras razones.

Exceptuando los espacios mencionados, el resto de la carretera parece en principio no presentar grandes transformaciones (incluso los espacios más cercanos a la capital) situándose en todos los casos en valores medio-bajos.

✓ **La carretera de Barcelona**

Generalizando bastante, pueden diferenciarse dos tramos en esta carretera. El primero va desde el comienzo de la carretera en el municipio de Madrid hasta aproximadamente la corona 8 (21- 24 Km); en este tramo no se observan grandes transformaciones, pudiéndose pensar en principio que constituye un espacio ya consolidado. Por el contrario, desde este punto hasta el final de la carretera en la Comunidad de Madrid aparecen espacios con valores muy altos de transformación; es decir, espacios muy alterados. Este segundo tramo coincide con la parte correspondiente a Alcalá Henares lo que hace pensar que en este caso las transformaciones se están ocasionando por la expansión del espacio urbano.

✓ **La carretera de Valencia**

Esta carretera se muestra como un caso totalmente diferente al de las dos carreteras anteriores.

Simplificando bastante podría destacarse un único tramo con altos valores de transformación, situado en la parte central de esta carretera a su paso por la Comunidad de Madrid.

Lo especialmente significativo de esta carretera es que se trata de un tramo muy amplio que va desde la corona 5 hasta la 12 (12-36 Km). La carretera cruza en este tramo los municipios de Rivas-Vaciamadrid y Arganda del Rey, municipios que cuentan actualmente con un alto grado de transformación de sus usos del suelo debido a la expansión urbana y a medidas de protección de espacios llevadas a cabo en estas zonas.

✓ **La carretera de Andalucía**

En general, es un espacio bastante consolidado que presenta índices elevados de transformación en casos muy puntuales; es decir, en coronas aisladas. Una de ellas es la corona cinco (12-15 Km) que se corresponde con la confluencia de esta carretera con la M-50 lo cual hace pensar una vez más que el motivo de los cambios en este es la ampliación de espacio urbano. Otra de las coronas que puede destacarse se corresponde el municipio de Valdemoro, que como vimos en el mapa de la tasa de urbanización, tenía una tasa superior a muchos municipios de la Comunidad de Madrid.

✓ **La carretera de Extremadura**

Esta carretera presenta un caso similar al de la carretera de Andalucía; los valores de transformación no son muy elevados y en este caso también están constituidos por coronas puntuales.

Las coronas más destacadas son la corona 4 (9-12 Km), coincidente con Campamento y parte del municipio Alcorcón. y las coronas 8 y 9 que engloban el municipio de Móstoles. Ambos espacios también se caracterizan por ser de los espacios de la Comunidad de Madrid en los que se están produciendo mayores transformaciones en sus usos del suelo.

✓ **La carretera de la Coruña**

En general, presenta un alto grado de transformación en su entorno; los índices son elevados a lo largo la carretera con puntos (coronas) excepcionalmente más bajos (con un menor nivel de transformación) localizados en la parte más cercana al municipio de Madrid (tres primeras coronas) y en la corona 8 (21-24 Km) correspondiente con el nuevo Club de Golf y coronas 11-12 (30-36 Km) que excepcionalmente son las coronas correspondientes al municipio de Villalba.

En conclusión, no se puede hablar de la existencia de regularidades en función de la distancia en todas las carreteras y en función de los cambios totales de usos del suelo; cada carretera tiene un comportamiento y tan sólo en algunas coronas presentan pautas comunes.

5.5. ANÁLISIS ESPECÍFICO DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO A URBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

Hasta ahora hemos analizado los cambios globales de usos del suelo en función de la distancia al centro de la ciudad (cambios en las diferentes coronas). En este punto, vamos a analizar cuál de estos cambios se producen a uso urbano.

La metodología es la misma que en caso anterior la única diferencia se basa en que en este caso no es necesario extraer los usos que han cambiado a urbano por corona a través de un modelo (no hay que repetir el modelo con el *MODEL MAKER*), únicamente hace falta conocer los usos que han cambiado a urbano en cada corona y carretera (el número de clase correspondiente con el cambio a urbano procedente de cualquier uso) y generar una nueva tabla de ponderación teniendo en cuenta exclusivamente los cambios a urbano.

Las fases para elaborar este análisis son:

1. Generación de tablas de ponderación.
2. Recodificación
3. Suma de coronas
4. Suma de carreteras.

1. Generación tablas de ponderación

El primer paso consiste en generar una tabla en la que aparezcan reflejados los cambios totales por corona y carretera y los cambios sólo a uso urbano (sacados del mapa general de cambios en las carreteras).

El resultado aplicados los mismos criterios de ponderación que en el caso anterior aparece reflejado en los Anexos 24 a 29.

2. Recodificación

El proceso de recodificación es el mismo que el seguido en la ponderación de los cambios totales. Al igual que ocurría en el caso anterior, debemos dar el valor correspondiente de recodificación sólo a las clases que representen un cambio a urbano (total 6 clases), recordemos que en el fichero aparecen todas las clases (49 que representan tanto los usos que cambian como los que no), al resto de las clases se les pone el valor de cero.

Este proceso debe repetirse individualmente con todas y cada una de las coronas de las diferentes carreteras.

3. Suma de coronas

El proceso de suma de todas las coronas por cada una de las carreteras, a través de un modelo realizado con el *MODEL MAKER*, es el mismo que el explicado anteriormente, y por ello no vamos a repetirlo. Únicamente recordamos que debe repetirse tantas veces como coronas existan en cada una de las carreteras.

El resultado para cada una de las carreteras aparece reflejado en los mapas 96-1 y 2, 97-1 y 2, 98-1 y 2, 99-1 y 2, 100-1 y 2, 101-1 y 2.

4. Suma de carreteras.

Al igual que ocurre con la suma de las diferentes coronas. Este proceso es el mismo que el realizado en el caso anterior y no vamos a repetirlo. Este proceso debe repetirse tantas veces como carreteras hay. El resultado final aparece en los mapa nº 102 y 103.

La tabla nº 25 resume los resultados de las ponderaciones para cada una de las coronas en las diferentes carreteras.

Tabla: Nº 25: Cambios a Urbano por corona y carreteras ponderados

COMPARACION DE DATOS DE CAMBIO A URBANO POR CORONA Y CARRETERA PONDERADOS

| | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 | N6 |
|---------------------|----|----|----|----|----|----|
| CORONA1 (0-3Km) | | | 1 | 1 | | |
| CORONA2 (3-6Km) | | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 |
| CORONA3 (6-9Km) | | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 |
| CORONA4 (9-12Km) | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 1 |
| CORONA5 (12-15Km) | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| CORONA6 (15-18Km) | 1 | 6 | 4 | 2 | 1 | 4 |
| CORONA7 (18-21Km) | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 5 |
| CORONA8 (21-24Km) | 2 | 2 | 1 | 3 | 5 | 1 |
| CORONA9 (24-27Km) | 1 | 2 | 6 | 5 | 5 | 4 |
| CORONA10 (27-30Km) | 4 | 2 | 6 | 6 | 3 | 1 |
| CORONA11 (30-33Km) | 2 | 6 | 6 | 6 | 1 | 2 |
| CORONA12 (33-36Km) | 6 | 6 | 5 | | 6 | 4 |
| CORONA13 (36-39Km) | 5 | 6 | 6 | | | 2 |
| CORONA14 (39-42Km) | 6 | | 6 | | | 4 |
| CORONA15 (42-45Km) | 6 | | 1 | | | 6 |
| CORONA16 (45-48Km) | 4 | | 6 | | | 2 |
| CORONA17 (48-51Km) | 5 | | 6 | | | 6 |
| CORONA18 (51-54 Km) | 1 | | 6 | | | 6 |
| CORONA19 (54-57Km) | 6 | | 5 | | | |
| CORONA20 (57-60Km) | 5 | | 5 | | | |
| CORONA21 (60-63Km) | 6 | | 6 | | | |
| CORONA22 (63-66Km) | 3 | | | | | |
| CORONA23 (66-69Km) | 5 | | | | | |
| CORONA24 (69-72Km) | 6 | | | | | |
| CORONA25 (72-75Km) | 6 | | | | | |
| CORONA26 (75-78Km) | 6 | | | | | |
| CORONA27 (78-81Km) | 6 | | | | | |
| CORONA28 (81-84Km) | 6 | | | | | |
| CORONA29 (84-87Km) | 6 | | | | | |

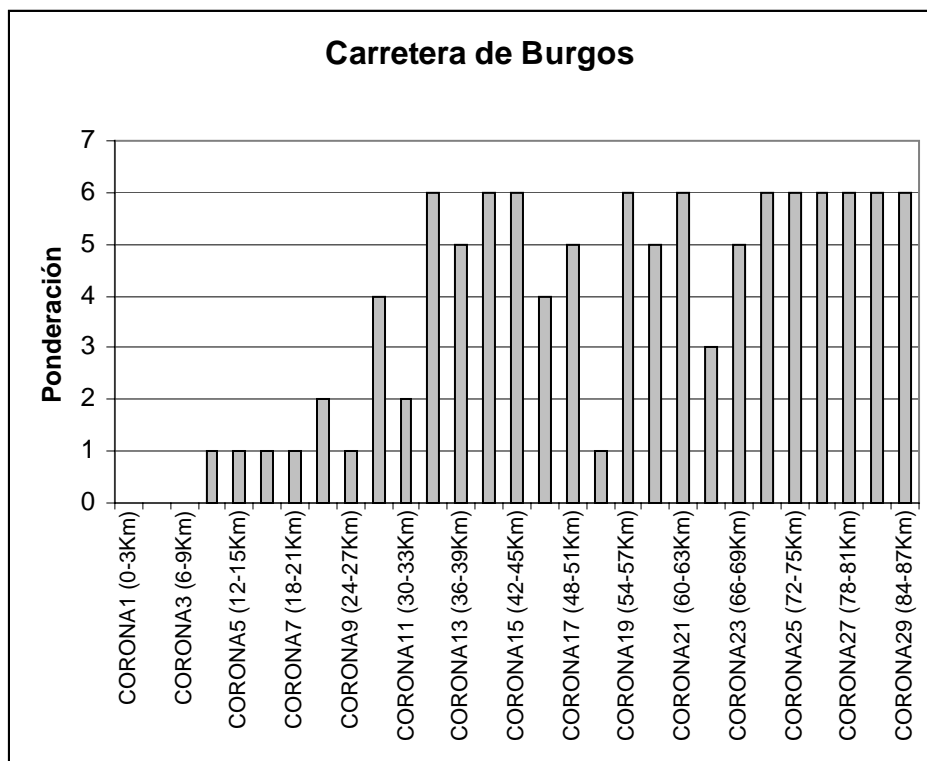
Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ **El análisis de los cambios a urba no por coronas ponderados en la carretera de Burgos** se basa en mapa nº 96-1 y 96-2, en la tabla nº 25 y en el gráfico nº 68.

Se observa que en esta carretera no se producen cambios a urbano en las tres primeras coronas (0-9 Km).

Los cambios empiezan a producirse bruscamente (+150%) manteniéndose relativamente constantes (desde la corona 4 cuarta hasta la 9, 9-27 Km). Estas coronas se corresponden con los municipios de Alcobendas, San Sebastián de los Reyes y las urbanizaciones de Fuente del Fresno y Ciudalcampo. Únicamente se produce un leve descenso (125-150%) en la corona 8 (21-24 Km), correspondiente al tramo final del municipio de San Sebastián de los Reyes.

Gráfico Nº 68: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Burgos.



Fuente: Elaboración Propia.

Los cambios a urbano descienden (75-100%) en la corona 10 (27-30 Km), en torno a la urbanización de Valdelagua, volviéndose a recuperar considerablemente en la siguiente corona, la 11 (30-33 Km), correspondiente al núcleo urbano del municipio de San Agustín de Guadalix.

A partir de aquí, se produce un gran descenso; prácticamente no se observan cambios entre las coronas 12 -15 (33-45 Km); es la parte correspondiente a los municipios de El Molar, Pedrezuela, El Vellón, Guadalix de la Sierra y Venturada. Pueden destacarse cambios aunque no muy elevados (50-75%) coincidiendo con los núcleos urbanos de El Molar y Pedrezuela.

A partir de la corona 16 (45-48 Km) vuelve a producirse un incremento muy acusado de los cambios que alcanza los niveles de las primeras coronas (+150%) en la corona 18 (51-54 Km). Los cambios en la corona 16, se corresponden con la extensión del núcleo urbano de Cabanillas de la Sierra y los cambios en la corona 18 coinciden con el núcleo urbano del municipio de la Cabrera.

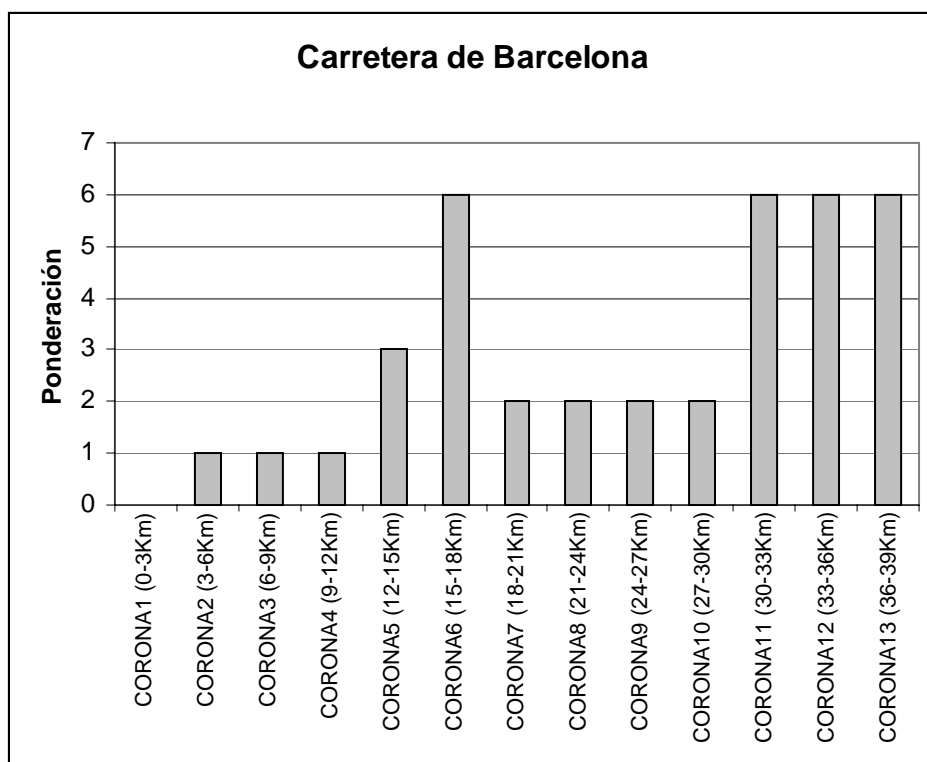
Desde la corona 19 (54-57) hasta el final, la intensidad de los cambios disminuye situándose en los niveles más bajos (-50%). Se producen crecimientos relativos en la corona 20 (57-60 Km), correspondiente con el núcleo urbano de Lozoyuela en el que se alcanzan niveles de 100-125% y entre las coronas 22 y 23 (63-69 Km) tramo correspondiente al núcleo urbano de Buitrago de Lozoya.

- ✓ **El análisis de los cambios a urbano por coronas ponderados en la carretera de Barcelona** se basa en mapa nº 97-1 y 97-2, en la tabla nº 25 y en el gráfico nº 69.

En esta carretera se aprecian tramos muy claros de crecimiento y descenso del uso urbano.

En la primera corona (0-3 Km) no se experimentan cambios. Los cambios más fuertes (+150%) se producen entre la corona 2 y la corona 4 (3-12 Km), correspondiente con la Quinta de los Molinos, borde de Marques de Suances, Torres Arias, el polígono industrial de las Mercedes y parte del municipio de Coslada; en este caso, aunque los cambios son muy intensos, en la mayor parte se sitúan únicamente a un lado de la carretera, ya que el otro coincide con el aeropuerto de Barajas.

Gráfico Nº 69: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Barcelona



Fuente: Elaboración Propia.

Las coronas 5 y 6 (12-18 Km) suponen un descenso paulatino de los cambios, hasta el comienzo del polígono industrial y del núcleo urbano Torrejón de Ardoz

Un aumento importante (125-150%) vuelve a producirse y se mantiene constante desde la corona 7 hasta la 10 (18-30 Km). Esta parte corresponde al municipio de Torrejón de Ardoz y al municipio de Alcalá de Henares.

Por último desde la corona 11 hasta la corona 13(30-39 Km) los cambios vuelven a descender situándose en los niveles más bajos de toda la carretera.(-50%).

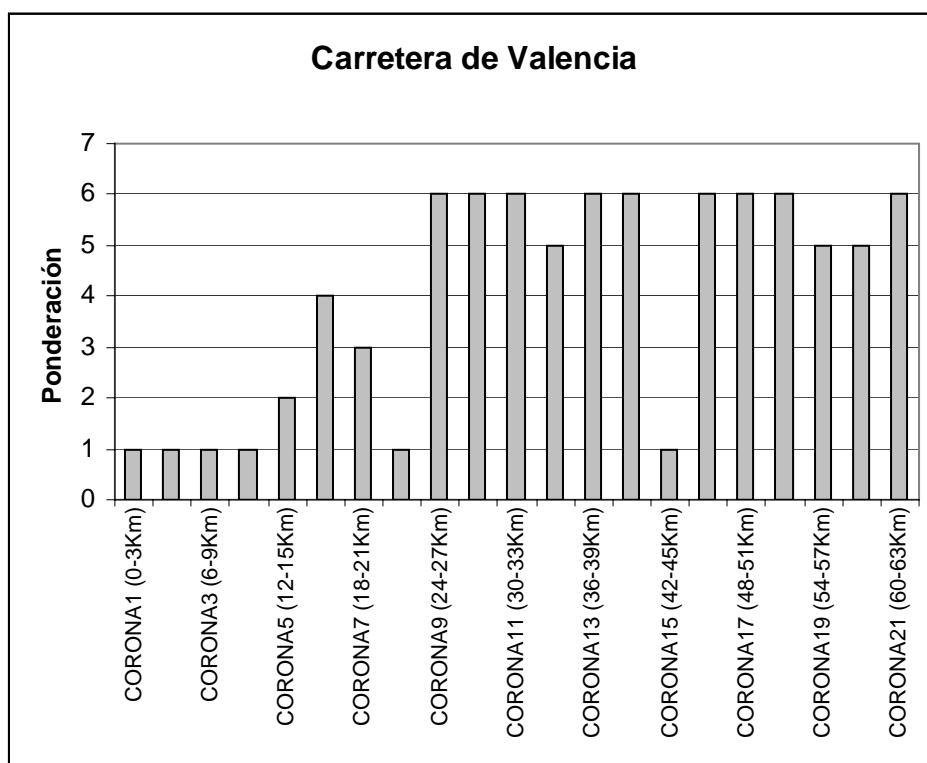
✓ **El análisis de los cambios a urbano por coronas ponderados en la carretera de Valencia** se basa en mapa nº 98-1 y 98-2, en la tabla nº 25 y en el gráfico nº 70.

En esta carretera se observa el cambio más fuerte (+ 150%) en las cuatro primeras coronas (0-12 Km); estas coronas coinciden con la extensión de Vicálvaro, Vallecas y Valdebernardo.

En la corona 5 se produce un descenso aunque no muy acusado de los cambios (125-150%), se corresponde con las urbanizaciones de Covivar y Pablo Iglesias situadas en el borde y término municipal de Rivas-Vaciamadrid. El descenso es considerable (75-100%) en la siguiente corona, la 6 (15-18 Km); son los cambios producidos en Rivas-Vaciamadrid.

A partir de los 18 Km, corona vuelve a producirse un gran aumento en la intensidad de los cambios a urbano que alcanza los mismos niveles que en las primeras coronas (+150%) en la corona 8 (21-24 Km); parte correspondiente al núcleo urbano y al polígono industrial de Arganda del Rey.

Gráfico Nº 70: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Valencia



Fuente: Elaboración Propia.

Desde la corona 9 los cambios decrecen considerablemente (-50%) hasta la corona 14 (42-45 Km), destacando únicamente la corona 12 (33-36Km) con un crecimiento de 50-75% correspondiente al núcleo urbano de Perales de Tajuña.

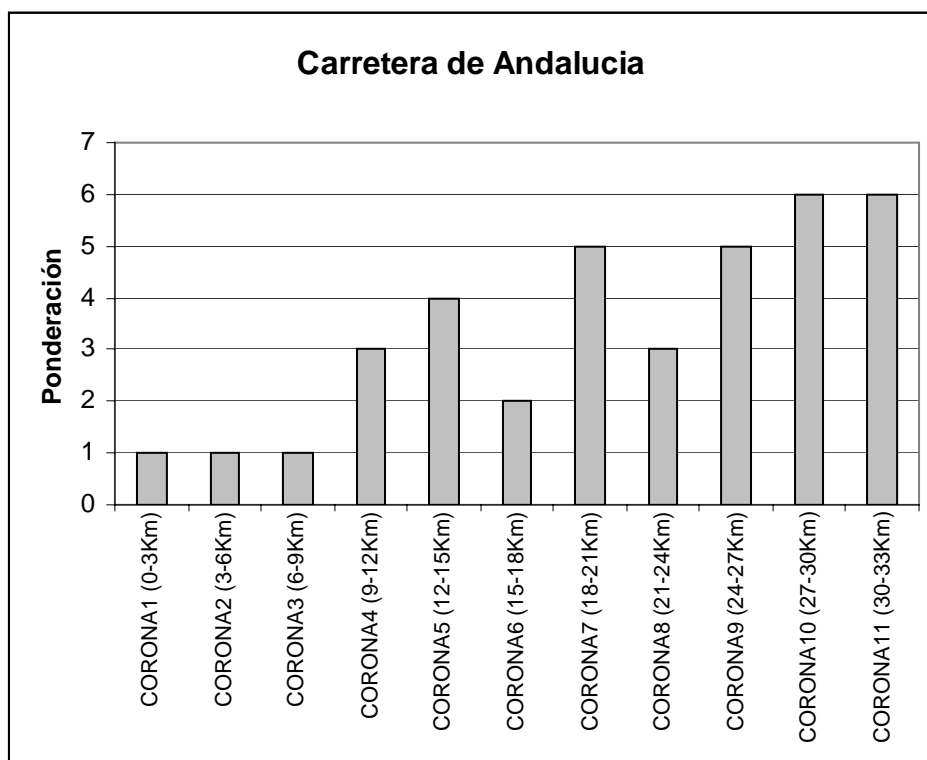
En la corona 14 (42-45 Km) se produce un fuerte aumento (+150%); esta corona se corresponde con el núcleo de Villarejo de Salvanés.

A partir de aquí y hasta el final, la intensidad de los cambios vuelve a disminuir situándose en los niveles inferiores (-50%), con un alza relativa (50-75%) entre la coronas 19 y 20 (54-60 Km), correspondientes al núcleo de Fuentidueña del Tajo.

- ✓ **El análisis de los cambios a urbano por coronas ponderados en la carretera de Andalucía** se basa en mapa nº 99-1 y 99-2, en la tabla nº 25 y en el gráfico nº 71.

Al igual que en el resto de las carreteras, los cambios a urbano más importantes (+150%) se producen en esta carretera entre las coronas 1 y 3 (0-9 Km). En apartados anteriores, comentamos que este cambio procede de un error del mapa de usos del suelo de 1987 (*Corine Land Cover*), porque esta zona coincide con el depósito del canal de Isabel II y con parte de la estación del Abroñigal

Gráfico Nº 71: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Andalucía



Fuente: Elaboración Propia.

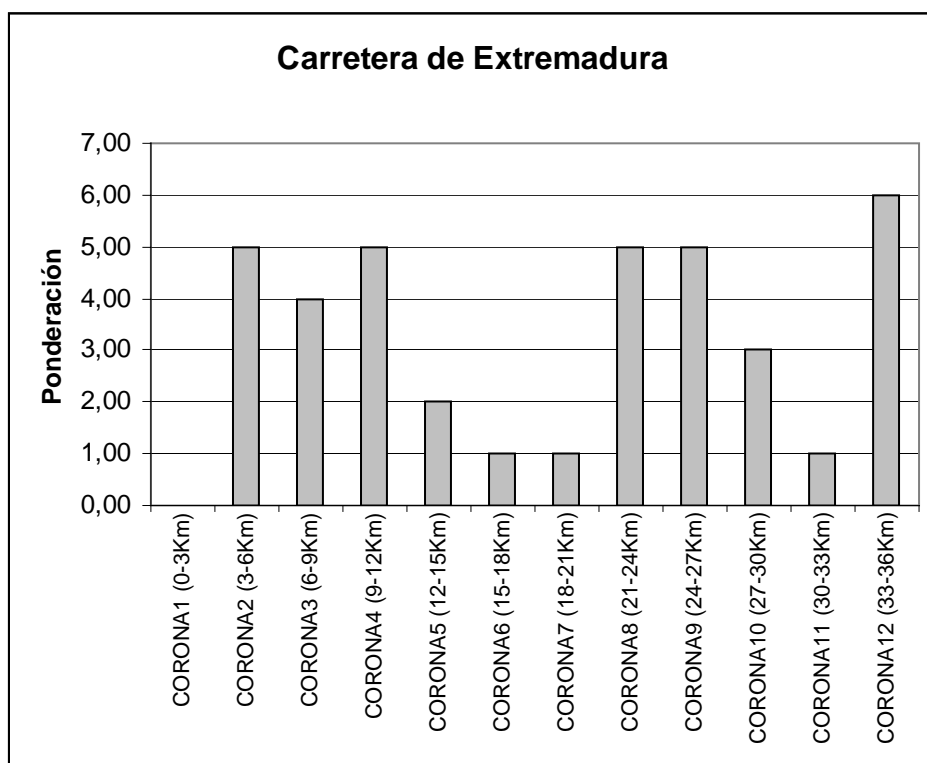
En las coronas 4 y 5 (9-15 Km) correspondientes ambas al municipio de Getafe se produce un descenso paulatino de los cambios para volver a ascender en la corona 6 (15-18 Km); esta zona se corresponde con los alrededores de Pinto en torno a la confluencia de la M-50 con la carretera de Andalucía y coincide con los nuevos centros comerciales-industriales surgidos como consecuencia de la influencia de la M-50.

A partir de aquí los cambios a urbano van descendiendo progresivamente a medida que nos alejamos del centro, produciéndose una recuperación (100-125%) en la corona 8 (21-24 Km) correspondiente con la extensión del núcleo urbano de Valdemoro.

- ✓ **El análisis de los cambios a urbano por coronas ponderados en la carretera de Extremadura** se basa en mapa nº 100-1 y 100-2, en la tabla nº 25 y en el gráfico nº 72.

A diferencia con el resto de las carreteras, en la de Extremadura, los cambios más importantes a urbano no se producen en las primeras coronas.

Gráfico Nº 72: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Extremadura



Fuente: Elaboración Propia.

Desde la corona1 hasta la 4 (0-12 Km) los cambios se sitúan en torno a 50-75%, es la parte que coincide con el paseo de Extremadura y la Casa de Campo,

espacios ya consolidados. Destaca únicamente la corona 3 (6-9 Km) con un crecimiento de 75-100% coincidente con nuevos espacios comerciales-residenciales en torno a Aluche y el principio de la Avenida de los Poblados.

Los cambio más fuertes (125-150%) comienzan a experimentarse en la corona 5 (12-15 Km) alcanzándose los niveles mayores de cambio (+150%) en las coronas 6ª y 7ª (15-21 Km); estos espacios coinciden con los términos municipales de Alcorcón y Móstoles en los cuales se han desarrollado grandes complejos comerciales (IKEA, etc.).

Las coronas 8 y 9, correspondientes con la urbanización del Parque Coimbra, vuelven a suponer un descenso del nivel de cambio que se sitúa en niveles similares a los de las primeras coronas (50-75%).

Un nuevo ascenso (100-125 %) se empieza a experimentar en la corona 10 (27-30 Km), y alcanza su nivel mayor (+150%) en la 11ª (30 –33 Km), estos espacios coinciden con núcleo urbano del municipio de Navalcarnero

La última corona supone nuevamente un descenso a los niveles inferiores.

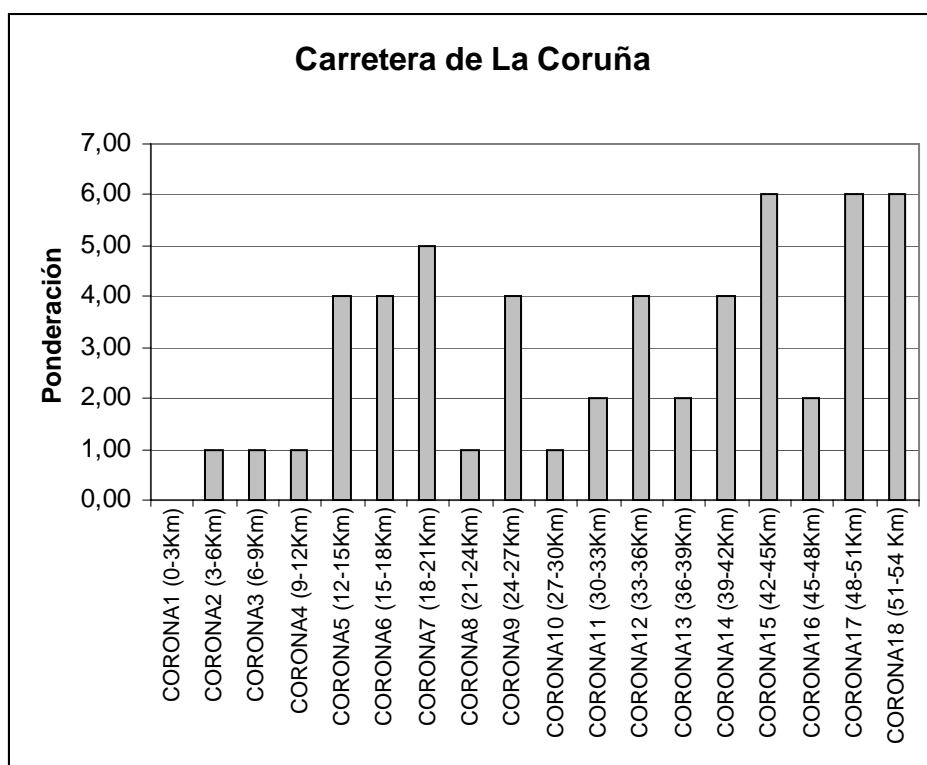
✓ **El análisis de los cambios a urbano por coronas ponderados en la carretera de La Coruña** se basa en mapa nº 101-1 y 101-2, en la tabla nº 25 y en el gráfico nº 73.

No se experimentan cambios en la primera corona (0-3 Km). Los cambios más fuertes (+150%) y continuados se experimentan entre las coronas 2 y la (3-12 Km) correspondientes fundamentalmente a la extensión de Aravaca.

Desde la corona 5 a la 7(12-21 Km), los cambios decrecen con respecto a coronas anteriores situándose entre 75-100% en las coronas 5 y 6 correspondientes con La Florida, El Plantío, Casa Quemada y Majadahonda y entre 50-75% en la corona 7 coincidente con el núcleo urbano de las Rozas.

Se produce un incremento muy fuerte (+150%) en la corona 8 (21-24 Km), correspondiente con el Parque empresarial de Las Rozas.

Gráfico N° 73: Cambios a Urbano ponderados en la carretera La Coruña.



Fuente: Elaboración Propia.

Entre los 24-27 Km, corona 9 la intensidad de los cambios desciende (74-100%), coincidiendo con la Rampa de Galapagar, para volver a producirse otro aumento importante entre la 10 sobre todo (+150%) y la 11 (125-150) (27-33Km), correspondiente con las urbanizaciones desarrolladas en los términos municipales de Torreloz y Galapagar.

La corona 12 (33-36 Km) en torno al Embalse de las Nieves y la corona 14 (39-42 Km) coincidente con el núcleo urbano de Alpedrete, se sitúan en el mismo nivel (75-100%) ; entre ambas la 13 (36-39) con una recuperación (125-150%), representa la extensión del núcleo urbano de Collado Villalba.

A partir de la corona 15 (42-45 Km) los cambios empiezan a disminuir alcanzándose los niveles más bajos (-50%); es ya la parte de la Sierra, con un salto importante (125-150%) en la corona 16 (45-48 Km) en el núcleo urbano de Guadarrama.

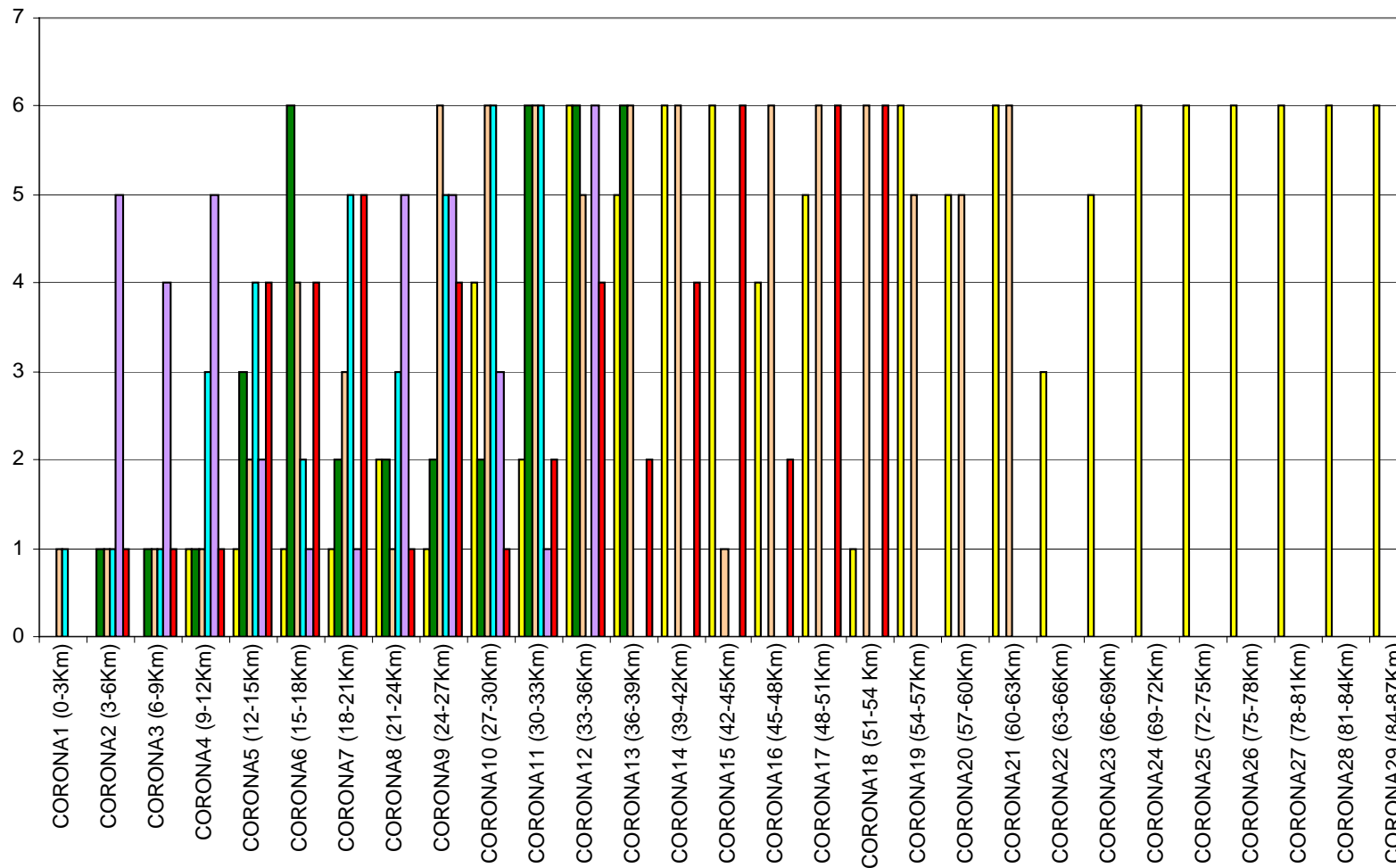
- El gráfico nº 74 muestra los cambios a urbano por coronas en todas las carreteras. En este gráfico se observa la existencia de regularidades en los cambios por carreteras fundamentalmente en las primeras coronas.

La corona 1 (0-3Km) presenta cambios importantes, nivel 1, pero tan sólo en las carreteras de Valencia y Andalucía.

La corona 2 (3-6Km) muestra al igual que la corona anterior una gran intensidad en los cambios, nivel 1, en prácticamente todas las carreteras excepto en la de Extremadura con un nivel 5 y en la de Burgos en la cual no se experimentan cambios. Lo mismo ocurre en la corona 3, la única diferencia estriba en que los cambios en la carretera de Extremadura aumentan a nivel 4.

La corona 4 (9-12Km) también es prácticamente igual que las dos coronas anteriores, excepto que en la carretera de Extremadura los cambios disminuyen (5) y aparecen por primera vez cambios en la carretera de Burgos (nivel 1) y los cambios en la carretera de Andalucía descienden a nivel 4.

CAMBIOS A URBANO



A partir de la corona 5 (12-15 Km) la homogeneidad de las coronas anteriores desaparece aunque los cambios continúan siendo acusados. Los cambios más importantes, nivel 1, están representados únicamente por la carretera de Burgos. El nivel 2 de cambio se da en las carreteras de Valencia y Extremadura, el nivel 3 en la carretera de Burgos y por último en las carreteras de Andalucía y la Coruña el nivel desciende a 4.

En la corona 6 (15-18) los cambios más elevados (1) aparecen en las carreteras de Burgos y Extremadura; a continuación (2) están las carreteras de Valencia y Extremadura, seguidas por la de Barcelona (nivel 3) y por último la de Andalucía y La Coruña presentan los niveles más bajos (4). A partir de esta corona y hasta la corona 11(30-33Km) no existe prácticamente ninguna carretera que mantenga el mismo patrón en cuanto a la intensidad de los cambios.

La misma pauta de cambio a urbano aunque este sea muy bajo (nivel 6), en la corona 11 (30-33Km), presentan las carreteras de Barcelona, Valencia y Andalucía; las carreteras de Burgos y la Coruña se encuentran con un nivel 2 de cambio y la carretera de Extremadura es la que presenta un mayor nivel (1) en esta corona.

La carretera de Andalucía desaparece en la corona 12 (36-39 Km). En esta corona presentan la misma tendencia con un nivel muy bajo de cambio a urbano (6) las carreteras de Burgos, Barcelona y Extremadura.

A partir de la corona señalada anteriormente no existen regularidades de cambio a urbano en las diferentes carreteras.

- **Conclusiones de la diferenciación de usos de suelo urbanos por distancia y carretera**

Este apartado se ha centrado en adaptar la metodología establecida para la detección y ponderación de los cambios de usos del suelo globales en función de la distancia al centro únicamente a los cambios experimentados por el uso urbano.

- ✓ **La carretera de Burgos**

Esta carretera presenta las transformaciones más fuertes entre la corona número 4 y la corona 9 es decir entre los 9 y los 27 Km. Este espacio engloba los términos municipales de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes en su mayor parte. Estos municipios son los que tienen valores más altos en cuanto a la tasa de urbanización (Ver mapa nº56) dentro del espacio recorrido por esta carretera.

Este sector ha sido uno de los espacios tradicionales de crecimiento urbano e industrial de la Comunidad de Madrid, unido a la proliferación de viviendas unifamiliares con gran cantidad de espacios verdes destinadas a los grupos sociales de mayor nivel de renta económica.

Fue en la década de los sesenta cuando se empieza a producir un salto en el crecimiento urbano de Madrid hacia los municipios de la primera corona metropolitana dentro de la cual se incluyen los dos municipios mencionados. Este crecimiento en la actualidad, unido al proceso general de descentralización de actividades del sector terciario (algunas de ellas localizadas en este corredor) permiten que en la carretera de Burgos el crecimiento más fuerte se siga concentrando en estos municipios y no se haya producido un salto a municipios más lejanos a la capital. Esta última tendencia podría empezar a confirmarse si tenemos en cuenta que la corona que engloba parte del término municipal de San Agustín de Guadalix también ha experimentado un gran crecimiento.

Otros puntos que presentan un incremento considerable del espacio urbano se corresponden con los municipios de La Cabrera y Buitrago del Lozoya; comparando estos resultados con el mapa de tasas de urbanización, se observa que estos municipios no presentan valores muy elevados, pero por el contrario estos municipios presentan valores más elevados con respecto a su entorno. Este crecimiento puede estar ocasionado por el incremento del espacio residencial dedicado a vivienda secundaria.

Una vez más los resultados obtenidos a partir de las imágenes se corresponden con las estadísticas publicadas y los índices realizados a partir de estas, lo cual demuestra la validez de esta metodología

✓ **La carretera de Barcelona**

Esta carretera presenta prácticamente en todo su recorrido unos valores de ponderación muy elevados. Se corresponde con los municipios de Coslada, Torrejón de Ardoz y Alcalá de Henares; al igual que en la carretera de Burgos estos municipios son los que presentan la tasa de urbanización más elevadas de toda la Comunidad de Madrid.

Este corredor otro de los ejes de crecimiento de la industria madrileña y al igual que el eje de la carretera de Burgos se ve afectado en la actualidad por procesos de descentralización del sector terciario.

En esta carretera no podemos observar si se produce un desplazamiento de la influencia de la ciudad, en lo que a urbanización se refiere, primero porque este eje ha estado muy consolidado históricamente (Alcalá de Henares) y en segundo lugar porque en caso de que este desplazamiento se esté produciendo rebasa los límites de la Comunidad de Madrid y ya no es objeto de este trabajo.

✓ **La carretera de Valencia**

La carretera de Valencia experimenta su mayor crecimiento en las coronas más próximas al centro, desde la primera hasta la 5 (0-15 Km). Esta es una de las áreas más dinámicas desde el punto de vista de expansión urbana del municipio de Madrid; aquí se encuentra consorcios residenciales como el de Valdebernardo, y toda la extensión de Vallecas y Vicálvaro.

Otra de las zonas que experimenta mayor crecimiento es la correspondiente a los municipios de Rivas-Vaciamadrid y Arganda del Rey también con valores en cuanto a tasas de urbanización se refiere. Las mejoras de las infraestructuras de transporte (carreteras y fundamentalmente el metro) han permitido el desarrollo de esta zona que a diferencia con otros municipios situados en torno a los ejes de transporte de la Comunidad de Madrid, no había tenido un gran desarrollo hasta los últimos años.

Por último en esta carretera destaca el núcleo de Perales de Tajuña que puede deber su expansión al aumento de residencias secundarias.

✓ **La carretera de Andalucía**

La carretera de Andalucía constituye uno de los ejes tradicionales de expansión industrial y residencial. Actualmente en torno a esta carretera continúan apareciendo nuevos espacios urbanos.

Los cambios a urbano aparecen concentrados en las coronas más cercanas al municipio de Madrid; es decir el municipio de Madrid se consolida “se rellena” también por esta zona.

La intensidad de los cambios decrece a continuación y se observan alzas puntuales coincidiendo en primer lugar con la expansión de núcleos urbanos pertenecientes a la segunda y tercera aureola (Pinto y Valdemoro), lo cual en este

caso está indicando un desplazamiento del área de influencia de la capital y en segundo lugar alzas puntuales en espacios coincidentes con la intersección de la M-50 en los cuales se están desarrollando polígonos comerciales y empresariales.

✓ **La carretera de Extremadura**

Los cambios más importantes se producen no en las primeras coronas (aquí el espacio urbano ya está muy consolidado), sino entre los 12 y los 21 Km. correspondiendo con la extensión de los núcleos de Alcorcón y Móstoles y al igual que ocurre en la carretera de Andalucía debido a la descentralización de actividades del sector terciario (aparición de grandes superficies comerciales)

✓ **La carretera de la Coruña**

Esta carretera tiene una situación muy característica que es exclusiva dentro de las carreteras analizadas. Presenta un crecimiento urbano elevado a lo largo de toda la carretera, pero este crecimiento no es continuo, sino a saltos coincidentes con núcleos que están experimentando una gran expansión en los últimos años (Las Rozas, Torrelodones, Villalba etc).

En este caso el motor impulsor de este crecimiento no ha sido la actividad industrial, sino la búsqueda de una residencia de mayor calidad (Las Rozas, Mahadahonda, Torrelodones etc), en segundo lugar la descentralización de actividades del sector servicios (este corredor ha sido el más afectado por la implantación de este tipo de actividades) y en tercer lugar el salto hacia viviendas de menor poder adquisitivo pero que comparten un entorno de calidad (Villalba).

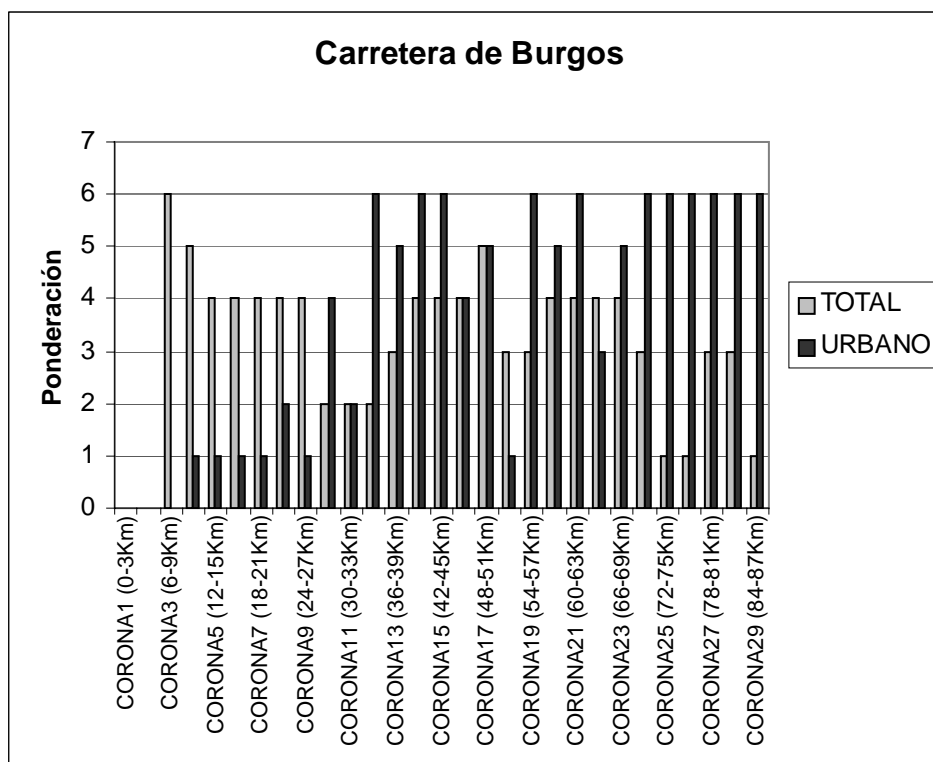
5.6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE CAMBIOS DE USOS DEL SUELO GLOBALES Y CAMBIOS A URBANO EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA EN CADA UNA DE LAS CARRETERAS.

✓ Carretera de Burgos

El gráfico nº 75 nos refleja que no existe correspondencia entre los cambios generales y los cambios producidos a urbano. Los cambios totales son insignificantes en las primeras coronas y por el contrario, es en estas primeras coronas donde se producen los cambios más fuertes a urbano.

Únicamente existe cierta correlación en la corona 11 (30-33 Km) correspondiente al desarrollo urbano del núcleo de San Agustín de Guadalix, en este caso todos los cambios experimentados en esta corona son cambios a urbano.

Gráfico Nº 75: Comparación de datos en la carretera de Burgos



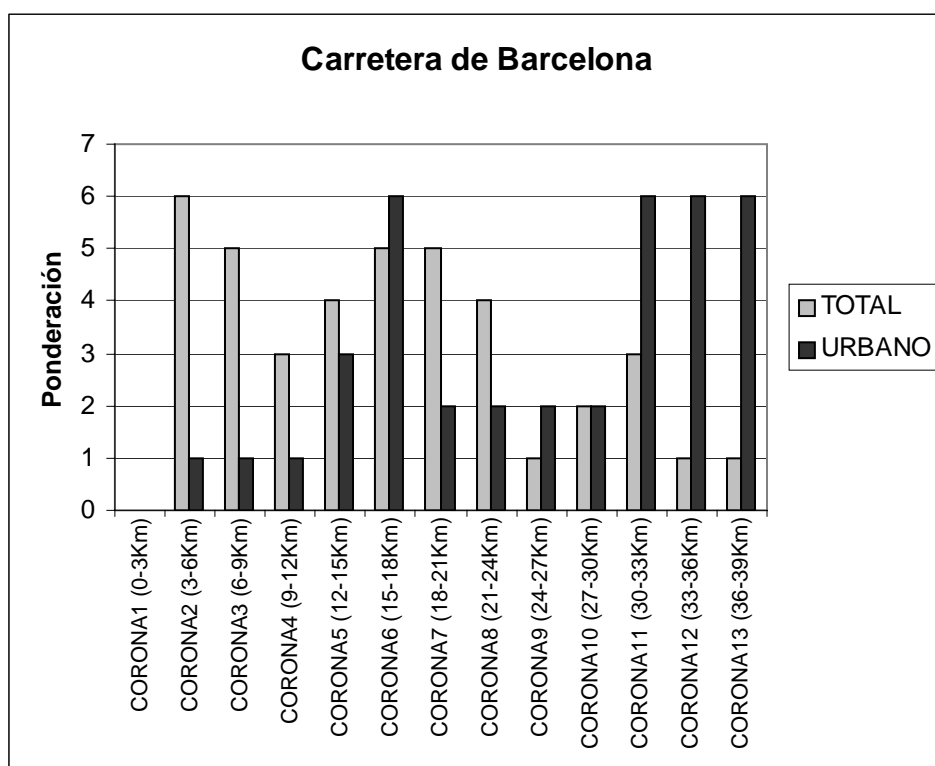
Fuente: Elaboración Propia.

✓ Carretera de Barcelona

El gráfico nº 76 nos refleja al igual que en el caso anterior, que prácticamente no existe correspondencia entre los cambios globales y los cambios a urbano en ninguna corona. Las primeras coronas no se ven afectadas por cambios a nivel global, pero es en estas dónde se producen los cambios más importantes a urbano.

La corona 10 (27-30 Km) es la única en la cual la totalidad de los cambios son consecuencia de los cambios a urbano. Esta corona es la que se corresponde con parte de Alcalá de Henares.

Gráfico Nº 76: Comparación de datos en la carretera de Barcelona

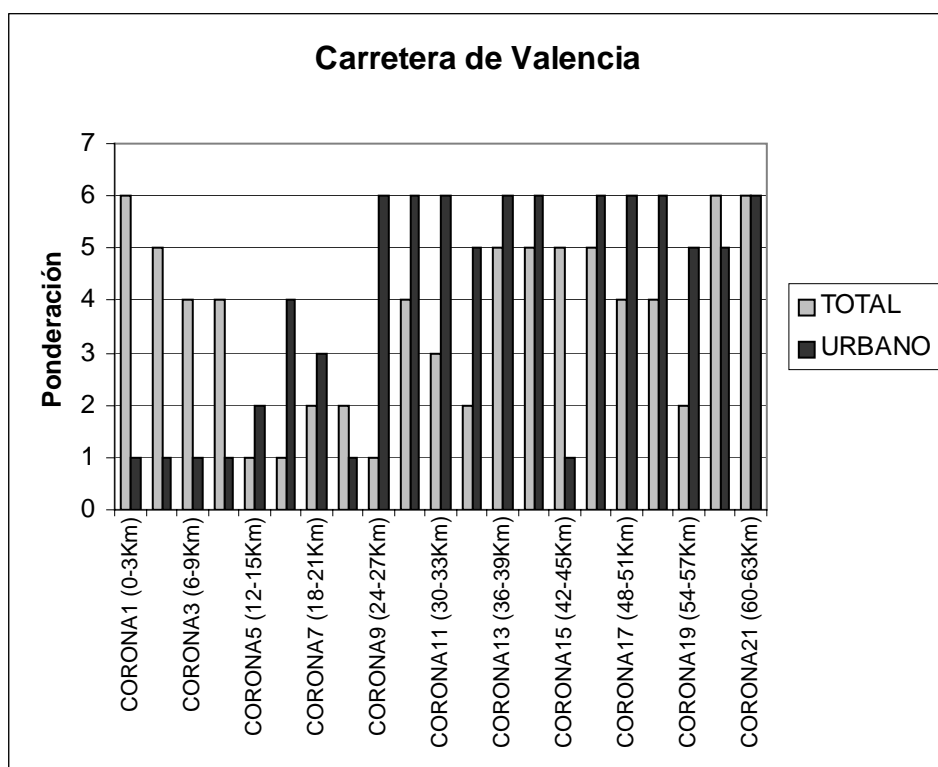


Fuente: Elaboración Propia.

✓ Carreteras de Valencia, Andalucía y La Coruña

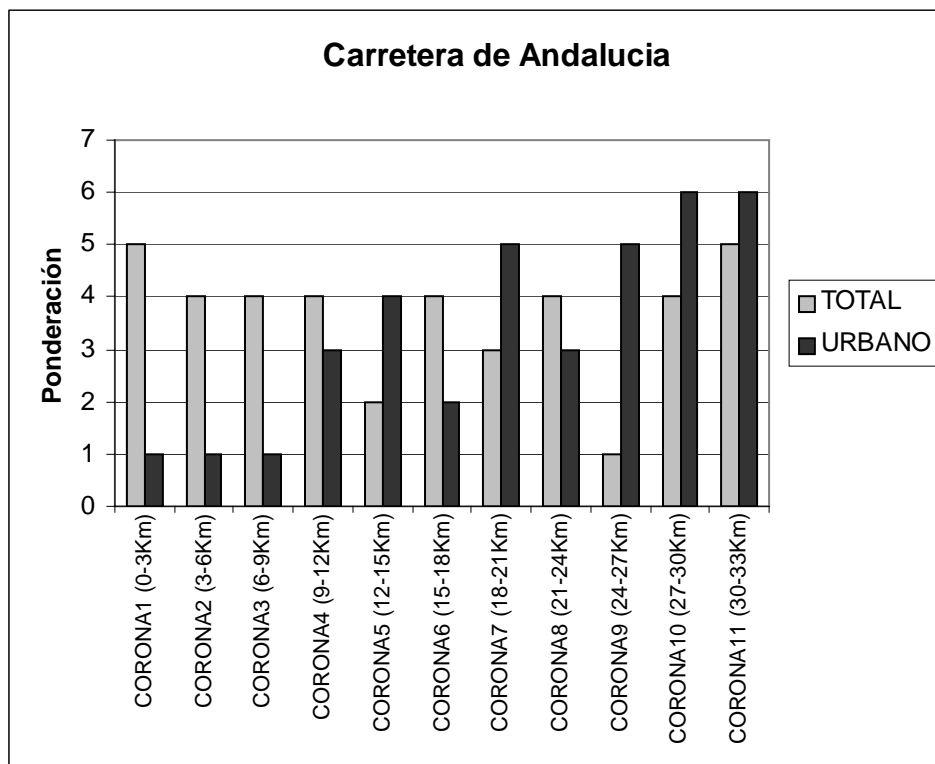
El gráfico nº 77, 78 y 79 nos reflejan que la tendencia en estas carreteras es la misma que en las carreteras anteriormente comentadas, no existiendo correspondencia entre el nivel de cambio globales y los cambios a urbano en ambos casos en ninguna corona.

Gráfico Nº77: Comparación de datos en la carretera de Valencia



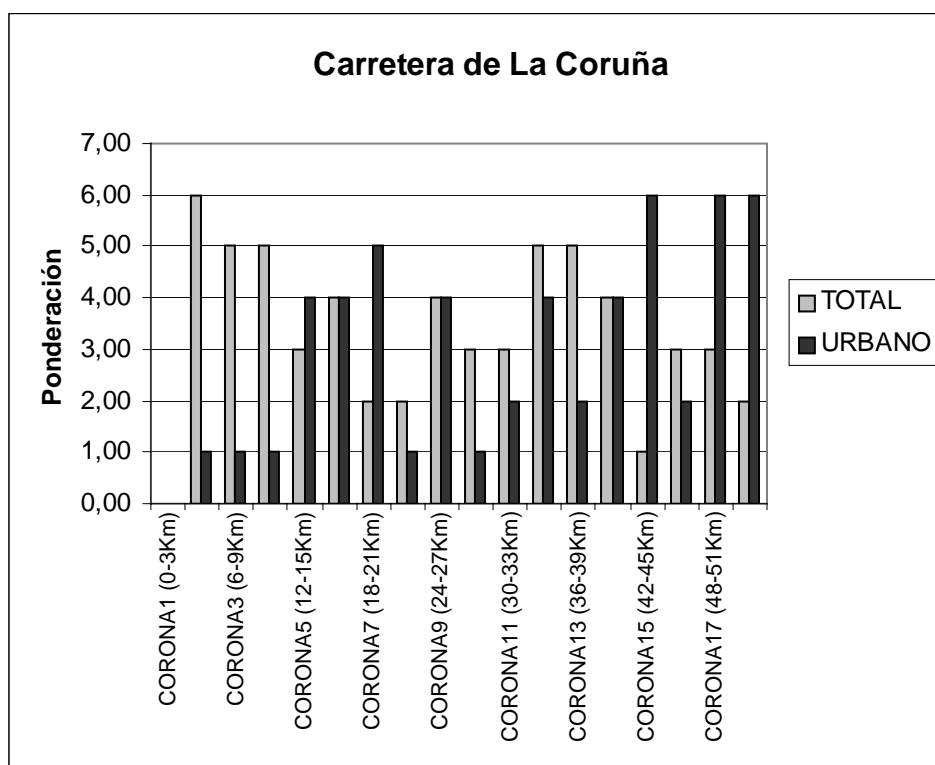
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 78: Comparación de datos en la carretera de Andalucía



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico N° 79: Comparación de datos en la carretera de La Coruña

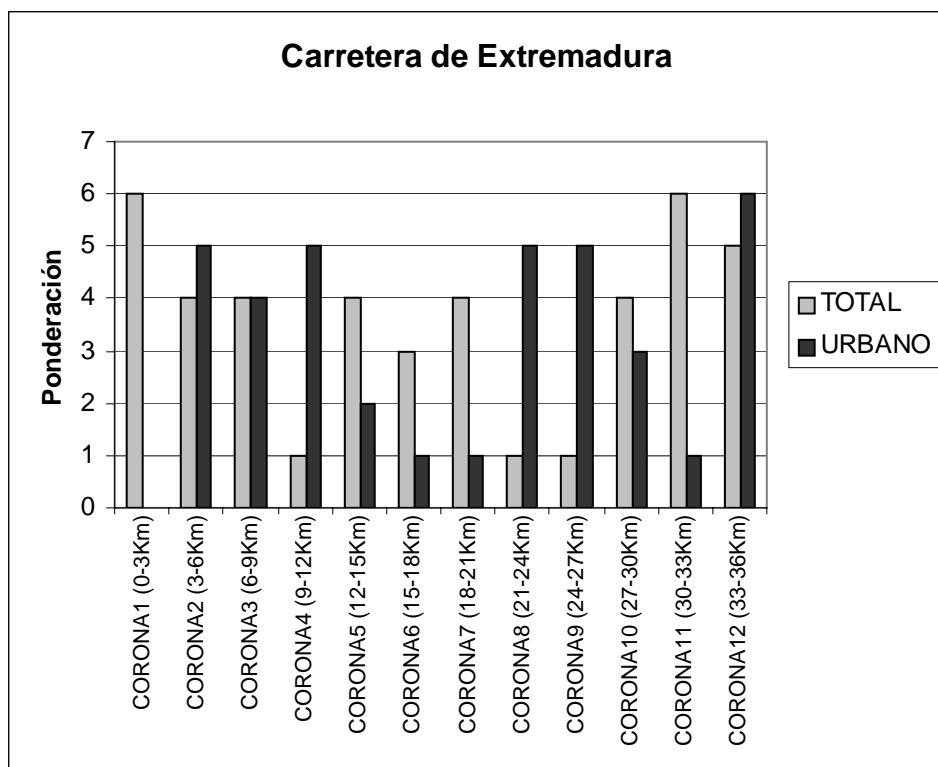


Fuente: Elaboración Propia.

✓ Carretera de Extremadura

El gráfico nº 80 nos muestra que en esta carretera en líneas generales ocurre lo mismo que en las anteriores aunque existe un mayor equilibrio en las primeras coronas, sobre todo en la 2 y 3 , correspondientes a la zona de Aluche.

Gráfico N° 80: Comparación de datos en la carretera de Extremadura



Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

La conclusión más importante derivada de este trabajo es que el objetivo general que nos habíamos marcado sobre el establecimiento de una metodología basada en imágenes de satélite, cartografía digital y Sistemas de Información Geográfica que permitiera detectar cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid (fundamentalmente en torno carreteras), ha quedado claramente cumplido y comprobado, como hemos podido observar en las conclusiones parciales de los apartados y capítulos precedentes.

Las imágenes de satélite constituyen hoy día una herramienta clave y fiable para el análisis de espacios tan dinámicos como son los espacios urbanos; así se ha podido comprobar al cotejar nuestros resultados con índices establecidos a partir de estadísticas publicadas (tasa de urbanización). La utilización de imágenes de satélite presenta desde nuestro punto de vista una ventaja importantísima con respecto a las estadísticas oficiales, que es la actualización; es decir, podemos analizar los cambios en los espacios urbanos prácticamente cada 15-20 días (dependiendo de la frecuencia “resolución “ temporal del satélite), circunstancia que no sucede con las estadísticas.

Las características actuales de las imágenes, en cuanto a resolución espacial se refiere, nos permiten realizar análisis mucho más detallados que no se centran en el espacio urbano en general sino en los cambios en el espacio residencial, comercial industrial, etc.

La elaboración de este trabajo nos ha permitido obtener otra serie de conclusiones de diferente naturaleza, pero que desde nuestro punto de vista deben tenerse en consideración en la elaboración de posteriores estudios en esta misma línea. En unos casos se derivan de la utilización de diferentes fuentes de información digital comercializadas, otras son de naturaleza puramente metodológica y por último están las conclusiones de carácter teórico-práctico derivadas del propio estudio, que son las que nos permiten corroborar o refutar la hipótesis de trabajo.

1. CONCLUSIONES DERIVADAS DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

El intento de establecer un modelo de desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid, basado en parte en la red de carreteras radiales, nos obligaba a trabajar con imágenes de satélite que tuvieran las siguientes características:

- Suficiente resolución espacial para poder detectar los posibles cambios urbanos.
- Suficiente resolución espectral para elaborar una clasificación automática de las imágenes destinada a conseguir una cartografía actualizada de usos del suelo.
- La necesidad de realizar un estudio dinámico implica disponer de imágenes con las características mencionadas desde la fecha de inicio de nuestro estudio.
- Por último y no menos importante, intentar cubrir toda la Comunidad de Madrid con el menor número de imágenes posible, debido básicamente al elevado coste económico de las imágenes.

Las características mencionadas nos llevaron a utilizar imágenes procedentes del satélite LANDSAT TM. Estas imágenes con una resolución espacial de 30m. no son las más adecuadas para realizar estudios urbanos

(ya hemos visto en el desarrollo de este trabajo que algunas áreas urbanas no se detectan adecuadamente con estas imágenes), pero al inicio de este trabajo no existían muchas más imágenes que tuvieran mayor resolución espacial, tan sólo SPOT (20m. en modo multiespectral); pero en este caso una sólo imagen de SPOT no cubre toda la Comunidad de Madrid, espacio que si cubre una sola imagen de LANDSAT.

En el transcurso de este trabajo empezana estar disponibles las imágenes del satélite indio IRS 1C (resolución espacial 5,8 m en modo pancromático) y pensamos que este tipo de imágenes podrían sernos muy útiles para detectar los cambios urbanos y para comprobar los resultados de los diferentes análisis (sustituir el trabajo de campo). Aún utilizando dos imágenes, no son suficientes para cubrir toda la Comunidad de Madrid, por ello algunos espacios urbanos (los no cubiertos por este tipo de imágenes) no quedan adecuadamente cartografiados.

Otra fuente cartográfica digital utilizada es el Mapa de usos del suelo resultado del proyecto *Corine Land Cover* realizado mediante fotointerpretación de imágenes LANDSAT TM del año 1987. La utilización de este mapa nos ha generado bastantes inconvenientes derivados primero del formato en que se encuentra disponible y segundo de los errores detectados.

La información procedente del *Corine Land Cover* está disponible en hojas 1:100.000; el número de clases es superior al que nosotros necesitábamos y además este mapa está realizado en formato vectorial. Requeríamos para nuestro estudio toda la Comunidad de Madrid en un sólo fichero, con un número inferior de clases y además en formato raster, para poder evaluar los resultados del año 1987 con los generados por nosotros en el año 1997.

La utilización del mapa *Corine Land Cover* nos ha permitido detectar algunos errores existentes en dicho mapa; aparecen clases que no se corresponden con lo

que realmente deberían ser, entre otros algunos regadíos que no son regadíos, sino secanos o vegetación de ribera y en otros casos incluso áreas que podríamos considerar como urbanas.

La conclusión de la utilización de una fuente estándar como es el *Corine Land Cover* es que ésta información, no es siempre útil tal y como se encuentra disponible, sino que es necesario adecuarla a los estudios específicos que quieran realizarse utilizando esta fuente de información; es decir, el empleo de esta información en nuestro trabajo, nos evitó el trabajo más duro e importante de cartografiar (fotointerpretar) los usos del suelo de la Comunidad de Madrid, pero fue necesario adecuar esta información a nuestras necesidades y esto también requirió un gran trabajo, eso sin tener en cuenta los errores detectados.

La última fuente de cartografía digital empleada ha sido la BCN-200. En este trabajo hemos utilizado varias de las capas que la componen y la conclusión más determinante es la poca fiabilidad de esta fuente; es una afirmación bastante rotunda pero a la vez está justificada después de comprobar los diferentes errores que contiene. Esto nos conduce a otras dos conclusiones parciales, que quizás son más que conclusiones “recomendaciones” para estudios posteriores; la primera es la necesidad de comprobar detalladamente las capas que vayan a ser utilizadas y en segundo lugar que el investigador genere su propia información vectorial, siempre y cuando ésta no sea elevada.

Las afirmaciones mencionadas anteriormente se desprenden de la gran cantidad de errores que hemos encontrado en la BCN-200. No nos estamos refiriendo, aunque sí consideramos que es importante, a que no aparezcan cartografiados algunos municipios o algunas carreteras o tramos de carreteras, ya que esta base se encuentra obsoleta sino que nos referimos a los siguientes aspectos:

1. Tramos de carreteras que aparecen con nombre y códigos erróneos; por ejemplo el caso de la carretera de Andalucía a su paso por el municipio de Aranjuez.
2. Incorrecta digitalización de algunos tramos de las carreteras. Este error no se apreciaba al superponer las carreteras sobre la imagen LANDSAT TM; por el contrario, cuando se superponen las carreteras a la imagen IRS 1C que tiene un mayor nivel detalle, se detecta como algunas carreteras de la BCN no se adaptan adecuadamente a la imagen. En principio pensamos que estos errores podrían derivar de la incorrecta ortorrectificación de las imágenes IRS 1C, pero posteriormente comprobamos que el error provenía de la digitalización, porque en la mayor parte de los tramos las carreteras se superponían perfectamente, pero existen tramos concretos en los cuales la carretera se desvía. Estos tramos erróneos no son muchos porque en ese caso hubiéramos desestimado su uso. Un ejemplo muy claro aparece en la carretera de Barcelona en torno a la Base de Torrejón; en este tramo la carretera cruza la Base por su borde sur; es decir, se desplaza hacia el norte.

Creemos que en la época actual en la cual la información cartográfica digital es básica para la realización de cualquier tipo de estudios, esta información debería estar a disposición de la mayor parte de la población (precios asequibles) y debería estar actualizada y corregida.

Por último y aunque no constituya en sí misma una fuente de información, nos gustaría mencionar algunos aspectos del software de procesamiento de imágenes utilizado, ERDAS IMAGINE.

La decisión de utilizar este software ha sido totalmente correcta debido a que todos los análisis y la mayor parte de las salidas cartográficas se han realizado

con él; sin embargo, somos conscientes de que algunos aspectos resultan más sencillos con otro software, nos referimos concretamente a la realización de *buffers* de distancias y sobre todo al realizado para subdividir la Comunidad de Madrid en coronas de 3km.

2. CONCLUSIONES METODOLÓGICAS

Las conclusiones de tipo metodológico son desde nuestro punto de vista las más importantes de este trabajo, puesto que el objetivo principal era el establecimiento de una metodología que permitiera la detección y ponderación de los cambios de usos del suelo. Estas conclusiones son:

1. Imposibilidad de realizar un mapa de usos del suelo de toda la Comunidad de Madrid con gran índice de fiabilidad mediante técnicas de clasificación automática.

Esta es la primera conclusión y quizás una de las más importantes. Los mapas de usos del suelo realizados para la totalidad de España o para la Comunidad de Madrid (mencionados en capítulos anteriores), han sido realizados mediante fotointerpretación de imágenes de diferentes satélites; LANDSAT en el caso de *Corine Land Cover* de 1987 y en la revisión y actualización de dicho mapa planteada actualmente; LANDSAT también en el mapa del Ministerio de Medio Ambiente; y SPOT en el mapa realizado por la Comunidad de Madrid.

Nosotros decidimos realizar este mapa con técnicas de clasificación automática por las siguientes razones:

- El número de clases que queríamos diferenciar era inferior al de los mapas citados.
- La realización mediante fotointerpretación de un mapa de usos del suelo actualizado hubiera sido prácticamente imposible.
- La importancia de nuestro estudio se centraba más en los cambios a urbano y estos cambios han sido fotointerpretados.

El resultado de la clasificación, aunque realizado con el máximo detalle no ha sido todo lo óptimo que esperábamos. La gran complejidad de usos y por tanto de respuestas espectrales (algunas muy similares aunque se correspondan con clases diferentes) existentes en la Comunidad de Madrid,

hace que desde nuestro punto de vista no se puedan clasificar espacios tan amplios y tan heterogéneos con técnicas de clasificación automática.

Otro problema de la clasificación es la fecha de la imagen; aunque hemos utilizado imágenes de diferentes fechas para intentar tomar muestras fiables, hay determinados usos que aparecen claramente diferenciados en una imagen y otros en otra, pero la clasificación hay que realizarla sobre una sola imagen (a no ser que se clasifiquen las dos y posteriormente se unifiquen los resultados, proceso que normalmente no se realiza).

Por esta razón algunos de los cambios que aparecen en nuestros mapas, tal y como comentamos en el análisis no se corresponden en realidad con cambios, sino que son fruto de errores del proceso de clasificación.

2. La fotointerpretación de imágenes de satélite es el proceso más fiable para determinados análisis.

Nuestro objetivo fundamental era detectar y ponderar los usos del suelo y específicamente los cambios producidos a urbano en la Comunidad de Madrid; por ello, éramos conscientes de que estos espacios debían estar perfectamente cartografiados.

La fotointerpretación de los espacios urbanos, a partir de las imágenes IRS 1C, con 5,8 m de resolución espacial, ha sido fundamental para poder evaluar correctamente los cambios urbanos producidos en la Comunidad de Madrid entre 1987 y 1997.

Anteriormente señalábamos la existencia de algunos errores derivados del proceso de clasificación automática, pues bien en este caso no existe prácticamente ningún error, debido a que el método adoptado ha sido la fotointerpretación.

También es cierto que como mencionábamos en el apartado de evolución de la teledetección, hasta hace relativamente poco tiempo no hemos podido realizar análisis urbanos detallados por no disponer de imágenes con suficiente resolución espacial.

A partir de ahora, la disponibilidad cada vez mayor de este tipo de imágenes, permitirá la elaboración de estudios de cambios urbanos mucho más detallados.

3. El tamaño del pixel de las diferentes fuentes utilizadas debe ser lo más similar posible.

En el proceso de recodificación del mapa *Corine Land Cover* de 1987 decidimos remuestrear el tamaño de pixel a 200m. Antes de tomar esta decisión, como ya explicamos en su momento, realizamos una prueba con un tamaño de pixel de 30m. y consideramos que las diferencias no eran significativas. Al realizar el análisis detallado de los cambios nos dimos cuenta de la aparición de cambios en forma lineal, que no se correspondían con cambios reales, sino con las zonas de bordes de las clases; esto se debe a la diferencia del tamaño del pixel. Aunque este tipo de “cambios” no son muy representativos (teniendo en cuenta el número de pixels), éstos no hubieran aparecido si hubiéramos decidido trabajar con pixels del mismo tamaño.

4. El criterio de fotointerpretación es subjetivo en algunos espacios y evidentemente depende de la escala a la cual se fotointerpreta.

Algunos espacios urbanos no coinciden en 1987 y 1997, aún sabiendo que no se han producido cambios. Un ejemplo muy concreto es en la zona del aeropuerto de Torrejón de Ardoz, el uso urbano desciende en 1997, porque hemos cartografiado únicamente la parte correspondiente a las pistas y a las

construcciones; por el contrario, en 1987 se cartografiaron como terrenos asociados al aeropuerto, dentro de la clase superficies artificiales.

La escala también hace variar la cartografía de determinados espacios urbanos, no es lo mismo cartografiar teniendo como base un tamaño de pixel de 30m que tomando como base 5,8m, evidentemente en este caso es mucho más preciso.

Esta diferencia en la escala de la fotointerpretación tiene como consecuencia la desaparición de espacios urbanos en 1997, cuando no es verdad. La causa es que en la imagen de 1987 se generalizan más los bordes y aparecen cartografiados de una forma más amplia determinados espacios urbanos.

5. Los cambios en torno a las carreteras no tienen por qué ser homogéneos en ambos márgenes.

El análisis de los cambios en torno a las carreteras se ha realizado teniendo en cuenta cambios totales producidos a ambos lados pero resulta evidente que los cambios pueden producirse únicamente a un lado de la carretera, un ejemplo muy claro lo tenemos en los bordes de los aeropuertos.

La evaluación de los cambios en un único margen es posible pero es un proceso bastante laborioso. Este tipo de estudios puede constituir trabajos posteriores en los que se estudien detalladamente las causas que originan cambios en un único margen en determinadas carreteras o en determinados tramos de carreteras.

El cambio de metodología en algunos aspectos hubiera permitido obtener resultados más fiables en todos los cambios analizados.

3. CONCLUSIONES TEÓRICO-PRÁCTICAS

Las conclusiones de carácter teórico- práctico derivadas de nuestro trabajo son las que nos permiten realmente comprobar nuestra hipótesis de trabajo.

Nuestra hipótesis de partida estaba estructurada en tres puntos:

- En primer lugar la existencia o no de nuevas pautas de desarrollo urbano. Esta primera parte vamos a resolverla mediante un modelo de desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid
- En segundo lugar la existencia o no de relaciones entre el desarrollo urbano y la especialización funcional y el sistema viario, comprobada sobre el papel que ejercen las carreteras principales de la Comunidad en dicho desarrollo.
- En tercer lugar si podían demostrarse las dos premisas anteriores sobre las bases de una Geografía Aplicada con el uso de las nuevas fuentes, técnicas y teorías. Creemos que esta tercera parte de la hipótesis ya ha quedado verificada en el transcurso de este trabajo al menos en lo que se refiere a fuentes y técnicas; con respecto a las teorías vamos a comprobarlo en la explicación del modelo de desarrollo urbano.

1. Modelo de desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid.

La Geografía Aplicada en la actualidad y dentro de los diferentes campos de estudio está utilizando técnicas de análisis geográfico basadas en los Sistemas de Información Geográfica, las imágenes de satélite y la cartografía digital. Hoy más que nunca, el desarrollo de estas técnicas permite realizar análisis dinámicos destinados a resolver problemas espaciales que afectan a la mayor parte de la sociedad.

Uno de los campos tradicionales de la Geografía Aplicada ha sido el desarrollo de modelos urbanos. La disponibilidad de cartografía digital, de imágenes de satélite y de Sistemas de Información Geográfica que gestionen toda la información referente a los espacios urbanos está permitiendo el desarrollo de modelos urbanos más dinámicos, objetivos y eficaces debido a que el tiempo empleado en su realización ha disminuido enormemente con los avances informáticos (agrupando en este campo no sólo hardware, sino software que permita la generación y manipulación de información cartográfica y geográfica).

Estas nuevas técnicas son las que nos han permitido generar el modelo de desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid que aparece en el mapa nº 104. Este modelo nos ayuda a explicar la importancia que tienen las carreteras en el crecimiento urbano de la Comunidad de Madrid y las pautas principales de este crecimiento.

Aún teniendo en cuenta todos los avances mencionados pensamos que el desarrollo de modelos urbanos y en general el estudio de los espacios urbanos está justo en este momento empezando a dar un cambio importante. Esta afirmación la basamos en la disponibilidad de las imágenes de satélite de gran resolución espacial. La utilización generalizada de este tipo de imágenes va a permitir realizar estudios dinámicos y lo que más importante casi en tiempo real, del espacio urbano por muy pequeña que sea; es decir, podemos observar los cambios producidos en cualquier área urbana mes a mes, o incluso menos, dependiendo de la resolución temporal de las imágenes. Por esta razón, este estudio constituye el punto de partida de diferentes trabajos que en esta misma línea pueden desarrollarse en un futuro no muy lejano.

Las imágenes de satélite de gran resolución van a permitir dar un salto importante en el estudio del espacio urbano, pero pensamos que no son las únicas (aunque si la base) responsables de este salto. La incorporación de teorías

procedentes de otras ciencias ayudan al desarrollo de modelos urbanos encaminados a proporcionar una explicación de las pautas de crecimiento en las grandes ciudades. En este sentido la utilización de la teoría de los fractales proporciona una explicación al crecimiento aparentemente caótico de las áreas urbanas. Esta teoría está siendo utilizada en otros países desde la década de los años noventa, pero en España no hemos encontrado hasta ahora ninguna aplicación.

Las pautas de desarrollo urbano están cambiando en la actualidad; es evidente y creemos que así ha quedado demostrado a lo largo de este trabajo, que las carreteras radiales continúan ejerciendo un papel fundamental en el desarrollo urbano de nuestra Comunidad, pero este desarrollo no puede explicarse según los modelos tradicionales.

Desde nuestro punto de vista, la Comunidad de Madrid se expande en la actualidad de dos formas:

- En primer lugar rellenando o consolidando espacios intersticiales situados entre las carreteras radiales, entre estas carreteras radiales y las carreteras de circunvalación (orbitales) y en las intersecciones de las carreteras radiales con las carreteras orbitales; este crecimiento se puede explicar mediante los modelos clásicos de desarrollo urbano
- En segundo lugar fuera de los espacios anteriormente señalados aparecen áreas de crecimiento aparentemente caótico, desordenado, siguiendo los grandes ejes de carreteras, pero que en general se caracterizan por la aparición de diferentes agrupaciones de crecimiento dispersas por toda la Comunidad. Este modelo de desarrollo no puede explicarse mediante los modelos tradicionales sino a través de la teoría de los fractales, porque son formas fractales las agrupaciones que aparecen.

La misma situación, aunque a diferente escala, la encontramos si analizamos el crecimiento urbano experimentado en torno a una carretera concreta. El caso más claro aparece en la carretera de Burgos. Si unimos los diferentes puntos aparentemente aislados, desordenados y de pequeño tamaño que aparecen en torno a esa carretera y fundamentalmente una vez pasados los núcleos urbanos de Alcobendas y San Sebastián de los Reyes, comprobamos que esos puntos pertenecen todos al desarrollo urbano experimentado por los núcleos situados en la citada carretera.

En este trabajo no pretendemos entrar en la explicación fractal del crecimiento de la Comunidad de Madrid, esto sería objeto de otros trabajos de investigación posteriores, pero queremos dejar abierta esta línea de investigación porque pensamos que actualmente es una de las formas más interesantes e importantes de explicar el crecimiento de las ciudades.

En el capítulo primero, mencionábamos que un buen modelo es aquél que aplicado a diferentes espacios con similares características, permitiera establecer conclusiones válidas para la mayoría de los espacios. Nuestro modelo es más bien de tipo descriptivo, porque nos ayuda a explicar sólo un espacio concreto que es la Comunidad de Madrid; pero una vez comprobada la validez de la metodología, pueden elaborarse modelos similares para otras grandes ciudades españolas y con ello explicar el fenómeno del desarrollo urbano en las grandes ciudades españolas.

2. Incidencia de las principales carreteras de la Comunidad de Madrid en el desarrollo urbano de la Comunidad.

El modelo de desarrollo urbano de Madrid adopta cada vez más una pauta espacial discontinua, pero observamos que las carreteras radiales y las orbitales (aunque en este trabajo no hemos analizado su influencia) de la Comunidad

ejercen un papel fundamental en la expansión urbana de Madrid; ejemplo de ello son:

- La distribución lineal adquirida por el crecimiento urbano en la Comunidad de Madrid (ver mapas nº18 y 28) se corresponden con crecimientos urbanos en torno a las principales carreteras de la Comunidad (ejemplo muy claro lo tenemos en las carreteras de La Coruña, Barcelona y Andalucía).
- Otro área de expansión urbana muy importante es la situada al suroeste de la ciudad; en este caso la explicación se debe a la influencia ejercida por las carreteras orbitales M-40, M-50, las cuales han permitido el desarrollo de grandes centros comerciales, empresariales y residenciales en algunas zonas. Esta influencia no ha sido abordada en nuestro estudio, pero se ve claramente a través del análisis de los mapas anteriormente señalados.

El papel que las carreteras tienen en el desarrollo urbano en la Comunidad de Madrid resulta evidente cuando analizamos comparativamente los diferentes cambios de usos del suelo producidos en toda la Comunidad de Madrid y los producidos únicamente en torno a las principales carreteras de la Comunidad. Los cambios más importantes producidos en el conjunto de la Comunidad de Madrid son los cambios a uso forestal y los más importantes producidos en torno a las carreteras son cambios a uso urbano; éstos representan un 31,85% frente al 11,04% que representan estos cambios en el conjunto de la Comunidad de Madrid.

Los cambios a uso urbano tanto en el conjunto de la Comunidad de Madrid como en torno a las principales carreteras, derivan fundamentalmente de secano y de vegetación natural; el secano en nuestra Comunidad se ha ido abandonado paulatinamente, para dejar paso a la expansión de usos urbano, lo mismo ocurre con algunos espacios ocupados por vegetación natural, fundamentalmente

matorrales subarborescentes poco densos y pastizales que están dejando siendo invadidos por la expansión de los diferentes núcleos urbanos.

El análisis de la distribución total de cambios por carreteras nos demuestra que la carretera más dinámica es la carretera de Burgos; es a lo largo de esta carretera donde se han experimentado un mayor número de cambios. A continuación están las carreteras de La Coruña y Valencia que experimentan un dinamismo intermedio y por último las carreteras menos dinámicas son las carreteras de Barcelona, Extremadura y por último la de Andalucía.

El análisis de los cambios a urbano en las diferentes carreteras, nos manifiesta que en este caso es la carretera de La Coruña la que se muestra más dinámica, un segundo grupo estaría constituido por las carreteras de Burgos y Barcelona y por último las carreteras que experimentan un menor cambio a urbano son la carretera de Valencia, Extremadura y Andalucía, todas ellas con valores muy similares.

El estudio de los cambios globales en función de la distancia al centro de la ciudad, nos refleja que los cambios más importantes no se producen en las coronas más cercanas al centro, sino que los cambios más fuertes se producen entre la corona número 4 y la número 12, es decir, entre los 9 y los 36 Km. Los espacios más cercanos a la capital ya se encuentran consolidados y no experimentan dinamismo, por el contrario, este dinamismo se desplaza hacia la periferia.

Los cambios totales en función de la distancia al centro en las diferentes carreteras, no reflejan un comportamiento homogéneo; es decir, no se puede establecer patrones de regularidad de cambios en función de la distancia al centro en todas las carreteras. La carretera de Burgos experimenta los cambios más importantes entre la corona número 10 y la corona número 12 (27-36 Km) y entre

las coronas número 25 y 26 (72-78Km). La carretera de Barcelona tiene su mayor cambio entre las coronas 9 y 13 (24-39 Km), aunque estos no son de la misma intensidad y disminuyen entre las coronas 10 y 11. La carretera de Valencia experimenta su mayor cambio entre las coronas número 5 y la número 9 (12-27 Km), la de Andalucía en las coronas 5 (12-15 Km) y la 9 (24-27 Km), la de Extremadura en la corona número 4 (9-12 Km) y entre las coronas 8 y 9 (21-27 Km) y por último la de La Coruña experimenta su mayor transformación entre las coronas 7 y 8 (18-24 Km) y en la corona 15 (42-45 Km).

Los cambios a urbano tampoco presentan patrones homogéneos para el conjunto de las carreteras. La carretera de Burgos tiene los cambios más entre las coronas 4 y 9 (9-27Km). La carretera de Barcelona entre las coronas 2 y 4 (3-12 Km); aquí es donde se producen los cambios más intensos y entre las coronas 7 y 10 (18-30 Km) en este tramo los cambios continúan siendo elevados pero menos intensos que en las coronas anteriormente señaladas. La carretera de Valencia experimenta su mayor transformación a uso urbano entre las coronas número 1 y 5 (0-15 Km). La de Andalucía entre la corona número 1 y la 3 (0-9 Km). la de Extremadura entre las coronas número 5 y la 7 (12-21 Km) y por último la de la Coruña entre las coronas 2 y 4 (3-12 Km), aunque esta carretera presenta cambios importantes también en otras coronas más aisladas, la número 8 (21-24 Km) la 10 y la 11 (27-33 Km) la 13 (36-39 Km) y la número 16 (45-48 Km).

Por último, es importante señalar que no existe ninguna correspondencia en función de la distancia entre los cambios globales experimentados por las carreteras y los cambios a urbano.

BIBLIOGRAFIA

- Ambrosino, G. et al. (1999): "A modeling framework for impact assesment of urban transport systems", *Transportation Research Part D* ,4D, 2, pp. 73-79.
- Anas, A. (1998): "Transport and Land Use: Editor's Introduction", *Urban Studies*, 35, 7, pp. 1015-1018.
- Antón, F.J.(1999): "La Geografía de los Transportes en España", En: J. Antón (Ed). *La Geografía de los Servicios en España*. Universidad Complutense de Madrid. Grupo de Trabajo Geografía de los servicios. Asociación de Geógrafos Españoles. Madrid.
- Appleby , S. (1996): "Multifractal Characterization of the Distribution Pattern of the Human Population", *Geographical Analysis*, 28, 2, pp. 147- 154.
- Arbiol, R. (1995): "Cartografía Temática: Teledetección y SIG", En: Centro de Estudios Ambientales. Ayto. Vitoria-Gasteiz. *Jornadas técnicas sobre sistemas de información geográfica y teledetección espacial aplicados a la ordenación del territorio y el medio ambiente*, pp.199-208.
- Arozarena, A. y Herrero, M. (1995): "El programa CORINE. Proyecto Land Cover. Una metodología aplicada a las Islas Canarias", En: Centro de Estudios Ambientales. Ayto. Vitoria-Gasteiz. *Jornadas técnicas sobre sistemas de información geográfica y teledetección espacial aplicados a la ordenación del territorio y el medio ambiente*, pp.87-98.
- ASPRS (1995): *Land Satellite Information in the Next Decade*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland.

-
- Assako, A.RJ. (1998): "Apport de la Télédétection et du SIG dans la recherche des zones constructibles d'un site urbain de collines: le cas de Yaoundé (Cameroun)", *L'Espace Géographique*, 2, pp. 122-128.
 - Bailly, A. (1978): *La organización urbana. Teorías y modelos*, IEAL, Madrid
 - Barrett, E.D. y Curtis L.F. (1983): *Introduction to Environmental Remote Sensing*, Chapman and Hall, London.
 - Batty, M. (1994): "Urban models 25 years on", *Environment and Planning B. Planning and Design*, 21, 5, pp. 515-517.
 - Batty, M. (1995): "Cities, planning, design, computation and evolution" *Environment and Planning B. Planning and Design*, 22, pp. 379-382.
 - Batty, M. and K.S. Kim (1992): "Form Follows Function: Reformulating Urban Population Density Functions", *Urban Studies*, 29,7, pp.1043-1070.
 - Batty, M and P. Longley (1994): *Fractal Cities*, Academic Press. Londres.
 - Batty, M (1998): "Urban evolution on the desktop: simulation with the use of extended cellular automata", *Environment and Planning A.*, 30, pp.1943-1967.
 - Beaujeu-Garnier, J. Y G. Chabot. (1995): *Tratado de Geografía urbana*, Vivens-Vives, Barcelona.
 - Benguigui, L. (1995): "A fractal analysis of the public transportation system of Paris", *Environment and Planning A*, 27, pp. 1147-1161.
 - Berroir, S. (1996): "L' espace des densités dans la ville: théories et modélisations", *L' Espace géographique*, 4, pp. 353-368.

-
- Bosque, J. (1992): *Sistemas de Información Geográfica*, RIALP S.A., Madrid.
 - Bosque, J. (1999): En Sotelo, J. A. *Modelos de Organización y desarrollo regional*. Observatorio Medioambiental. I.U.C.A. U.C.M. Madrid.
 - Boulaahbal, M. (1999): "Le Rôle de l'usage de l'automobile dans la transformation des territoires", *Bulletin de l'association de Geographes français*, 76 Année, pp.32-43.
 - Brunet, R. (1980): "La composición de los modelos en el análisis espacial", *L'Espace Geographique*, 4, pp. 253-265.
 - Bryan, J et all (1997): "Road infrastructure and economic development in the periphery: the case of A55 improvements in North Wales", *Journal of Transport Geography*, 5, 4, pp. 227-237.
 - Burrough, P.A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
 - Burrough, P.A. and R.A. McDonell. (1988): *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, Oxford.
 - Campbell, J.B. (1987): *Introduction to remote Sensing*, The Guilford Press, Nueva York.
 - Casas Torres, J.M. (1964): *Las nuevas fronteras de la geografía*. Lección Inaugural del Curso académico MCMLXIV- MCMLXV. Universidad de Zaragoza. Zaragoza.
 - Casas Torres, J.M. y E. Chuvieco (1987): "Análisis visual de imágenes Thematic mapper para el estudio urbano. El caso de la ciudad de Madrid", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 7, pp.399-412.

- Castells, M. (1974): *La cuestión urbana*, Siglo XXI, Madrid.
- Carter, H. (1987): *El estudio de la geografía urbana*, IEAL, Madrid.
- Centro Geográfico del Ejército (2001): *Cartografía Militar Reglamentaria*. Madrid.
- CEO (1998): *Information from space*, CEO PROGRAMME. Comunidad Europea. (Documentación en CD-ROM.)
- CNES (1988): *SPOT-4 Satellite pour l'observations de la Terre. Dossier d'informations*, Centre National d' Etudes Spatiales, Paris .
- CNES (1999): *Imágenes de Satélite. Una Guía operativa*, CNES.
- Colwell, R.N. (1983): *Manual of Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, Falls Church.
- Colwell, R.N. (1985): "Spot Simulation Imagery for Urban Monitoring: A Compararison with Landsat TM and MSS Imagery and with High Altitude Color Infrared Photography", *Photogramnetric Engineering & Remote Sensing*, 51,8, pp.1093-1101.
- Comunidad de Madrid (1991): *El transporte en la región de Madrid. Balance de un cuatrienio (1987-1990)*, Consejería de Política Territorial, Madrid.
- Comunidad de Madrid (1991): *Madrid Región metropolitana. Estrategia Territorial y actuaciones*, Consejería de Política Territorial, Madrid.
- Comunidad de Madrid (1991): *Madrid Región metropolitana. Compendio de actuaciones estructurales*, Consejería de Política Territorial, Madrid.

- Comunidad de Madrid (1995): *Memoria de Gestión 1994*, Consejería de Política Territorial, Madrid.
- Comunidad de Madrid (1995): *4 años de gestión al servicio de la mayoría*, Oficina del Portavoz de Gobierno, Madrid.
- Córdoba, J. (1999): "Elementos para la definición de un modelo de red de transportes en España". En: J. Antón (Ed). *La Geografía de los Servicios en España*. Universidad Complutense de Madrid. Grupo de Trabajo Geografía de los servicios. Asociación de Geógrafos Españoles. Madrid.
- Curran, P.J. (1985): *Principles in Remote Sensing*, Logman, New York
- Chorley, R.J. y P. Hagget (1971): *La Geografía y los modelos socioeconómicos*, IEAL, Madrid.
- Chuvieco, E. (1985): "Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 5, pp. 29-48.
- Chuvieco, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección Espacial*, RIALP S.A, Madrid.
- Dauphine, A. (1998): "Le modèle de la Perturbation fractale", *Annales de Géographie*, 601, pp. 259-272.
- Dauphine, A. (1995): *Chaos, fractales et dynamiques en géographie*, GIP, RECLUS.
- Desmarais, G et Gilles Ritchot (1998): "La modélisation dynamique en géographie humaine", *Cahiers de Géographie du Québec*, 42, 11, pp.329-334.

-
- Dorling, D. & D. Fairbairn.(1997): *Mapping ways of representing the world*, Addison Wesley Longman Limited, London.
 - Drury, S.A. (1986): *Image Interpretation in Geology*, Allen and Unwin, London.
 - Drury, S.A. (1990): "A guide to Remote Sensing: Interpreting Images of remote Sensing", Oxford University Press, Nueva York.
 - Dureau, F. y Ch. Weber (1995): *Télédétection et systèmes d'information urbains*, Anthropos, Paris.
 - EARTHWATCH (1996): A Multimedia Presentation. (Documentación en CD-ROM)
 - Echenique, M. (1994): "Urban and regional studies at the Martin Centre:its origins, its present, its future" *Planning and Desig*, 21,5, pp. 517-535.
 - Echenique, M. and J. Owers (1994): "Research into practice: the work of the Martin Centre in urban and regional modelling", *Planning and Design*, 21, 5, pp. 513-515.
 - Ehlers, M. and M. A. Jaskowski et al. (1990): Application of SPOT Data for Regional Growth Analysis and Local Planning. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56,2, pp.175-180.
 - ERDAS (1994): *Imagine OrthoMAX USER'S Guide*, Erdas, Inc. Atlanta.
 - ERDAS (1997): *ERDAS Field Guide*, Erdas, Inc. Atlanta.
 - ERDAS (1996): *MAPSHEETS User's Guide*, Erdas, Inc. Atlanta.

- ESA, (1992): *ERS-1 User Handbook*, ESA, Paris.
- ESA, (1993): *ERS-1 500 days in orbit*, ESA, Paris
- ESA, (1999): Home Page ENVISAT: <http://envisat.estec.esa.nl/>
- Estébanez, J. (1988): En VVAA. *Geografía Humana*, Cátedra. S.A., Madrid.
- Estébanez, J. (1990): *Madrid, presente y futuro*, Akal Universitaria, Madrid.
- EURIMAGE (1994): *The ERS-1 Satellite. What's it all about*, Eurimage, Roma.
- EURIMAGE: *A World of Applications* (documentación en CD-ROM) Eurimage. Roma.
- European Commision (1994): *CORINE Land Cover Techical Guide*, European Commision, Luxemburgo.
- European Commision (1997): *Techical and Methodological guide for updating CORINE Land Cover Data Base*, Joint Research Centre, European Commision, Luxemburgo.
- Fahim, M.M et al (1999): "Identification of Urban Expansion onto Agricultural Lands Using Satellite Remote Sensing: Two Case Studies in Egypt", *Geocarto International*, 14,1, pp. 45-48.
- Felicísimo, A.M. (1994): *Modelos Digitales del terreno*, Pentalfa, Oviedo
- Fernandez, R. (1980): *Transporte, Espacio y Capital*, Nuestra Cultura., Madrid.

- Filion, P et all (1999): "The Entrenchment of urban Dispersion: Residential Preferences and Location Patterns in the Dispersed City", *Urban Studies*, 36, 8, pp. 1317-1347
- Frankhauser, P. (1991): "Aspects fractals des structures urbaines", *L'Espce géographique*, tome XIX-XX,1, pp. 45-69.
- Frankhauser, P. (1997): "L' approche fractale. Un nouvel outil de réflexion dans l'analyse spatiale des agglomérations urbaines", *Population*, 4 , pp. 1005-1040.
- Frankhauser, P. (1998): "la formalisation fractale des tissus urbains", *Cahiers de Geographie du Quebec*, 42, 11, pp.379-398.
- Froster, B. (1980): "Urban Residential Ground Over Using Landsat Digital Data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46, pp. 545-555.
- Gandia, S y Melia, J (1995): *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Microondas*, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- Garcia, J.M. (2000): "El modelo metropolitano madrileño: enjuiciamiento desde la perspectiva del V Programa de Acción de la CE en materia de Medio ambiente. Apuntes metodológicos", *Observatorio medioambiental*, 3, pp135-158.
- Garcia, J.M. (2000): "Capacidad potencial de Usos Agrarios y Urbanización: contribución a la geografía de la sostenibilidad de Madrid", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 20, pp. 419-436.
- George, P. (1980): *Geografía activa*, Ariel, Barcelona.
- Girard, M.C. y Girard, C.M. (1989): *Téledétection Apliqué*, Masson, Paris.

-
- Giuliano, G. (1986): "Land use impacts of transportation investment: Highway and transit". En Hanson, S. (Ed), *The Geography of urban transportation*, The Guilford Press, New York.
 - Giuliano, G. and A. Gillespie (1997): "Research issues regarding societal change and transport", *Journal of Transport Geography*, 5, 3, pp. 165-176.
 - Giuliano, G. (1998): "Information Technology, Work Patterns and Intra-metropolitan Location: A Case Study", *Urban Sstudies*, 35,7, pp. 1077-1095.
 - Gong, P. and Howarth, P.J.(1990): "The use of Structural Informatio for Improving Land-Cover Classification Accuracies at the Rural-Urban Fringe", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56,1, pp. 67-73.
 - Gordon, S. I.(1980.): "Utilizing Landsat Imagery to Monitor Land Use Change: A case study in Ohio", *Remote Sensing of Environment*, 9, pp.189-196
 - Greene, D.L. and M. Wegener (1997): "Sustainable transport", *Journal of Transport Geography*, 5, 3, pp.177-190.
 - Gutiérrez, J. y G. Gómez (1999): "The impact of orbital motorway on intra-metropolitan accesibility: the case of Madrid's M-40", *Journal of Transport Geography*, 7, pp. 1-15.
 - Gutiérrez del Olmo, J. y V. Moreno (2000): "Pasado presente y futuro de la teledetección de alta resolución. El satélite IKONOS", *Mapping*, 64, pp. 34-40.
 - Gutierrez, J. (1999): "Las autopistas de circunvalación y la dinámica metropolitana" En: J. Antón (Ed). *La Geografía de los Servicios en España*.

Universidad Complutense de Madrid. Grupo de Trabajo Geografía de los servicios. Asociación de Geógrafos Españoles. Madrid.

- Haggett, P. (1976): *Análisis locacional en Geografía Humana*, Gustavo Gili, Barcelona
- Haggett, P. (1988): *Geografía una síntesis moderna*, Omega, Barcelona.
- Hai Yang, Q.M. and Wong S. (2000): "A combined land-use and transportation model for work trips", *Environment and Planning B. Planning and Design*, 27, pp. 93-103.
- Hall, P. (1975): *Modelos de Análisis territorial*, OIKOS-TAU, Barcelona.
- Hall, P. (1993): "Red viaria y desarrollo urbano" En Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (Ed): *Movilidad y territorio en las grandes ciudades: el papel de la red viaria*. Madrid, MOPTMA, pp.15-40.
- Hanson, S. (1986): *The geography of urban transportation*, Guilford Press, New York.
- Harris, C.D. (1975): *Modelos de desarrollo urbano*, OIKOS-TAU, Barcelona .
- Harris, C.D. (1997): "The nature of cities and urban geography in the last half century", *Urban Geography*, 18, 2 , pp. 15-35.
- Harris, C.D. (1998): "Diffusion of urban models: a case study", *Urban Geography*, 19, 1, pp. 49-67.
- Harvey, D. (1983): *Teorías, leyes y modelos en geografía*, Alianza Universidad, Madrid.

- Henderson, R.M. (1983): "A comparasion of SAR brihtness levels and urban land cover classes", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48, pp. 629-643.
- Herrero, A.. (1993): "Red viaria y desarrollo urbano" En Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (Ed): *Movilidad y territorio en las grandes ciudades: el papel de la red viaria*. Madrid. MOPTMA. pp 123-144.
- Herrero, R. y S. Montesinos. (1992): "Ortoimágenes espaciales 1/50.000 de la zona metropolitana de la Comunidad de Madrid", *Mapping*, pp. 10-18.
- Herrero, R. y S. Montesinos. (1993): "Ortoimágenes espaciales 1/50.000 de la zona metropolitana de la Comunidad de Madrid". *IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección: Teledetección y Medio Ambiente*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Madio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente, Sevilla, pp. 118-121.
- G. Hhou, G and R. Li. (2000): "Accuracy Evaluation of Ground Points from IKONOS High-Resolution Satellite Imagery", *Photogrammetric Engineering & Remore Sensing (PE&RS)*, 66, 9, pp.1103-1112.
- Howarth, P.J., and E. Boasson, (1983): "Landsat Digital Enhancement for Change Detection in Urban Environments", *Remote Sensing of Environment*, 13, pp. 149-160.
- Huthinson, B and M. Batty (1991): *Advanced in urban systems modelling*. Elsevier Science Publishers B.V. Holanda (Studies in Regional Science and Urban Economics) N° 15.
- INFOCARTO (1998): *10 AÑOS*. Infocarto S.A. Madrid. (Documentación en CD-ROM)

- Ikhuoria, I. (1999): "SPOT Satellite Detection and Analysis of Urban Spatial Growth Regimes in a Pre-colonial African City", *Geocarto International*, 14, 1, pp.49-52.
- Jaffe, V. (2000): "Bozeman Banks on 1- Meter Imagery", *Imaging Notes*, 15, 4, Space Imaging, pp.26-28
- Jensen, J.R. (1981): "Urban Change Detection Mapping Using Landsat Digital Data" *The American Cartographer*, 8 (2) ,pp.127-147.
- Jensen, J.R. (1986): *Introductory Digital Image Processing* Prentice-Hall, New Jersey.
- Jensen, J.R et all. (1994): "Improved Urban Infrastructure Mapping and forecasting for BellSouth Usind Remote Sensing and Gis Technology", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60, 3, pp.339-346.
- Jensen, J.R and D.L. Toll, (1982): "Detecting Residential Land Use Development at the Urban Fringe", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 48, 4, pp.629-643.
- Ji, M. and Jensen, J.R. (1999): "Effectiveness of Subpixel Analysis in Detecting and Quantifying Urban Imperviousness from Landsat Thematic Mapper Imagery", *Geocarto International*, 14 ,4, pp.33-41.
- Johnston, J.H. (1987): *Geografía urbana*, OIKOS-TAU, Barcelona
- Johnston ,R.A., De la Barra, T. (2000): "Comprehensive regional modeling for log-range planning: linking integrated urban models and geographic información systems", *Transportation Research. Part A* , 34, Pergamon, pp. 125-136.

- Johnston, R.J., et al. (2000): *Diccionario Akal de Geografía Humana*, Akal, Madrid.
- Jun, M. (1999): "An integrated metropolitan model incorporating demographic-economic, Land-use and transport models", *Urban Studies*, 36, 8, pp. 1399-1408.
- Labasse, J. (1973): *La Organización del espacio. Elementos de Geografía Aplicada*, IEAL, Madrid.
- Lane, R et all (1975): *Planificación analítica del transporte*, IEAL, Madrid.
- Lawless, P and G. Dabinett: (1995): "Urban regeneration and transport investment: a research agenda" *Environment and Planning A*, 2, pp. 1029-1048.
- Lawless, P. and T. Gore (1999): "Urban regeneration and transport investment: A case study of Sheffield 1992-96", *Urban Studies*, 36, 3, pp. 527-545 .
- Lefevre, M.J., A. Hersan, L Duponnt. (1988): "Application de l'imagerie Spot dans de Cadre d'etudes de travaux publics en milieu urbain et periurbain" En: MOPU *Teledetección y planificación Integrada del Territorio. Comunicaciones y Ponencias N° 8*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Instituto Geográfico Nacional. Madrid.
- Levy, A (1999): "Infraestructure viaire et forme urbaine. Genèse el development d'un concep", *Espaces et sociétés*, 95, 2, pp.31-53.
- Limp, W.F (1999): "Image processing Software", *Geoworld*, 12, 5, pp.32-46.

- Linneker, B. and N. Spense.(1996): "Road transport infrastructure and regional economic development.The regional development effects of the M25 London orbital motorway", *Journal of Transport Geography*, 42, pp.77-92.
- Lo, C.P. and Noble, E. (1990): "Detailed urban land-use and land cover mapping using large format camera photographs: An evaluation" *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56, 2, pp.197-206.
- Longley, P.A y otros (1994): "The predictive use of GIS to model property valuations", *International Journal of Geographical Information Systems*, 8, pp. 217-235.
- Longley, P.A. and Victor Mesev (1997): "Beyond analogue Models: space filling and density measurement of an urban Settlement", *Papers in Regional Science*, 76, 4, pp. 409-427.
- Longley, P.A. and V. Mesev (2000): "On the measurement and generalisation of urban form", *Environment and Planning A*, 32, 3 , pp. 473-488.
- Lopez, A. y otros (1993): *El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid*, M.O.P.T, Madrid.
- Lopez, J.M. (1989): "La Observación de la tierra desde el espacio: El mapa de ocupación del suelo de la Comunidad Económica Europea" *Estudios Geográficos*, Tomo XLX nº 196. C.S.I.C. pp.409-433.
- Lopez, M.J. y V. Caselles (1991): En Gandia, S y J. Melia: *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. Universitat de Valencia. Valencia.

- Lopez, M.J. y B. Denore (1999): "Los satélites de Observación de la Tierra en el 2000" *Cuadernos de Geografía de la Universidad de Valencia*, 65-66- 081-102, pp 1-22.
- Lopez, R (1993): *Ciudad y urbanismo a finales del siglo XX*, Servicio de publicaciones de la Universidad de Valencia, Valencia
- Lopez, R (1994): "Accesibilidad y nuevas centralidades", *Alfoz*, 109, pp 71-77.
- Lora-Tamayo, G. (1990): *El Barrio de la concepción de Madrid. Estudio de un área residencial*, Universidad Complutense de Madrid.
- Lynch, K (1998): *La imagen de la ciudad*, Gustavo Gili, Mexico.
- Mandelbrot, B (1993): *Los objetos fractales: forma azar y dimensión*, Tusquest, Barcelona.
- Mandelbrot, B (1997): *La geometría fractal de la naturaleza*, Tusquest, Barcelona.
- Martin, L.R.G.(1989): "Accuracy Assessment of Landsat- Based Visual Change Detection Methods Applied to the Rural Urban Fringe", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55,2, pp.209-215.
- Martinez de la Roda, F. (1983): *Comercio y Transporte Internacionales*, Cincel, Madrid.
- Medda, F. et al (1998): " Recognition and Classification of Urban Shapes", *Geographical Analysis*, 30, 3, pp. 304-314 .
- Melia, J., V. Caselles y J.M. Lopez Garcia.(1988): "Estudio del efecto de la isla térmica de la ciudad de Valencia" En: *Teledetección y planificación*

- Integrada del Territorio. Comunicaciones y Ponencias N° 8.* MOPU Ministerio de Obras Públicas y urbanismo. Instituto Geográfico Nacional.
- Mesev, V., P. A. Longley, M. Batty, and Y. Xie. (1995): "Morphology from imagery: detecting and measuring the density of urban land use", *Environment and Planning A Volume*, 27, 5, pp. 673-830.
 - Miller, B., (2000): "Utah County Anticipates Better Data, Lower Costs", *Imaging Notes*, 15, 4, Space Imaging. pp.18-24.
 - Molina, E. (1993): "Red viaria y desarrollo urbano". En Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (Ed): *Movilidad y territorio en las grandes ciudades: el papel de la red viaria..* MOPTMA. Madrid. pp. 41-63.
 - Molina, Z. y E. Chuvieco (1996): "Evaluación de índices texturales para discriminar morfología urbana: análisis de la ciudad de Maracay (Venezuela)", *Revista de Teledetección*, 7, pp. 49-57.
 - Molina, Z. y E. Chuvieco (1997): "Detección del crecimiento urbano en la ciudad de Maracaibo (Venezuela) mediante análisis Multitemporal de imágenes MSS y Landsat" En J.L.Casanova (Ed): *Teledetección usos y aplicaciones.* Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico. Universidad de Valladolid.
 - Molines, G et V. Cuadrado (1997): "La modélisation et la géographie enseignée", *L'Information Géographique*, 61, pp. 144-153.
 - Moller-Jensen, L., (1990): "Knowledge- Based Classification of an Urban Area Using Texture and Context Information in Landsat TM Imagery", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56,6, pp.899-904.

- Montes, C. (1995): "Transport and land-use planning: the case of British and French conurbations" *Journal of Transport Geography*, 3,2, pp. 127-141.
- Moreira, J.M., A. Lobato, J.M, Diaz de Mayorga y J. Ojeda. (1987): "La Teledetección como instrumento para el reconocimiento de la ocupación del Territorio. Un caso de estudio en el contexto del programa Corine de la C.E.E". En libro de Comunicaciones de la I Reunión Científica del grupo de trabajo en Teledetección. Barcelona 10-11 Diciembre de 1986. Institut d' Investigacions Geologiques Jaume Almera , CSIC Barcelona .Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques.Institut Cartografic de Catalunya.
- Moreno, J., (1991): En Gandia, S y J. Melia: *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura.* Universitat de Valencia
- Moreno, J., S. Gandía y J. Melia (1993): "Integración de imágenes e muy diferente resolución espacial: aplicación al caso SPOT HRV-NOA AVHRR" En actas IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección: Teledetección y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla. PP. 201-208.
- NASA (1999): EOS SCIENCE PLAN: *The State of Science in the EOS Program*, NASA, Maryland. (Libro y CD-ROM)
- NASDA (2000): home page. (incluida en las páginas web)
- Newman, P et J.R. Kenworthy (1996): "Formes de la ville et transports: vers un nouvel urbanisme" *Cahiers de L'LA.U.R.I.F.*, 114, pp.99-108 .

-
- NRSA (1995): *IRS 1-C. Data Users Handbook*. NRSA Data Centre. National Remote Sensing Agency, Department of Space, Government of India, Hyderabad.
 - Nuñez de las Cuevas, R. y otros. (1983): "Mapa de usos del suelo de la Región central. Estudio Piloto sobre la aplicación del tratamiento digital de imágenes Landsat 2 a la confección de mapas de usos del suelo", *Geographica*, XXV, pp. 61-68.
 - Nuñez de la Cuevas, R. (1990): "El mapa de ocupación de suelos de España a escala 1/100.000" En MOPU: *El programa CORINE de la CEE*, MOPU, Madrid.
 - Pacione, M. (1999): *Applied Geography: Principles and Practice*, Routledge, London.
 - Parra, R. (1993): "Información Geográfica del I.G.N.-C.N.I.G" *Mapping*, 12, pp. 62-68.
 - Pavolini, M. (1997): "L' utilizzazione dei modelli in Geografia", *Geografia nelle Scuole*, Anno XXII, 4, pp. 98-104.
 - Pedron., C. (1988): "Utilisation de la Teledetection Satellitaire pour l'étude et la gestion du milieu urbain et peri -urbain". En MOPU: *Teledetección y planificación Integrada del Territorio. Comunicaciones y Ponencias N° 8*. MOPU Ministerio de Obras Públicas y urbanismo. Instituto Geográfico Nacional.
 - Pellegrino, P. (1999): "Infrastructures et forme urbaine", Introduction. *Espaces et sociétés*, 95, 1, pp.5-19.

- Pellegrino, P. et al. (1999): "Infraestructures et modèles urbanistiques" *Espaces et sociétés*, 95,2, pp.9.-31.
- Pinilla, C. (1995). *Elementos de Teledetección*, Ra-Ma, Madrid.
- Piñeiro, R. (1990): *Comercio y Transporte*, Síntesis, Madrid.
- Piron, V. (1996): "Modèles de trafic en zone urbaine une méthodologie qui reste à inventer", *Transports*, 379, pp. 370- 394
- Portugal, J.A. (1996): "Coremas: representación Gráfica del espacio en su estructura elemental", En VV.AA.: *Modelos y sistemas de información en geografía*. País Vasco, AGE-Universidad del país Vasco, pp .318-326
- Potrykowski, M. y Z. Taylor. (1984): *Geografía del transporte*, Ariel. Barcelona
- Precado, A. (1990): *La red urbana*, Síntesis, Madrid.
- Precado, A. (1996): *Ciudad y desarrollo urbano*, Síntesis, Madrid.
- Pumain, D. (1998): "Les Modèles d'auto-organisation et le changement urbain", *Cahiers de Géographie du Québec*, 42, 11, pp.349-366.
- RADARSAT (1995): *Radarsat Satellite Canadiénse de Observación de la Tierra*, Radarsat Internacional. British Columbia
- RADARSAT (1996): *Radarsat samples images*, Radarsat Internacional. British Columbia. (Documentación en CD-ROM)
- Rees, W.G. (1990): *Physical Principles of Remote Sensing*, Cambridge University Press, Cambridge.

- Rimbart, S. (1988): "Apport de Spot au Domaine Urbain: Atude de cas sur Strasbourg" En MOPU: *Teledetección y planificación Integrada del Territorio. Comunicaciones y Ponencias N° 8*.MOPU Ministerio de Obras Públicas y urbanismo. Instituto Geográfico Nacional.
- Rodrigue, J.P. (1994): "The utility value of land use. Theoretical foundations and application to Shanghai", *Journal of Transport Geography*, 124,1, pp 41-54
- Rodriguez, A. y otros (1997): "La Base Cartográfica Numérica 1:25.000 (BCN25)", *Mapping*, 38, pp 76-82.
- Santiago, M y otros (1999): "La Teledetección espacial en la caracterización de áreas urbanas", *Mapping*, 52, pp. 32-39.
- Santos, J.M.(1994): "La simulación informática y los modelos de difusión. *Estudios Geográficos*", Tomo LV N° 217, pp .711-741.
- Segui, J.M. y J.M. Petrus. (1991): *Geografía de redes y sistemas de transporte*, Síntesis, Madrid.
- Serie Geográfica. (1992): *La enseñanza de la Teledetección*, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares.
- Servicio Geográfico del Ejército (1980). *Manual de Topografía y lectura de Planos. Estado Mayor del Ejército*, Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- Sole, L. y Serra P. (1991): "Morfología Urbana del área metropolitana de Barcelona en dos imágenes Thematic Mapper", *Estudios Territoriales*, 36, pp. 215-242.

- Sole, L. y Serra P. (1993): "Imágenes de la morfología Urbana en el área metropolitana de Barcelona con imágenes Landsat TM". En actas IV Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección: Teledetección y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Agencia de Medio Ambiente. Sevilla. pp. 127-132.
- Soriano, J. (1994): "Teledetección y Climatología" *Mapping*, 19, pp.52-62.
- Sotelo, J.A. (1999): *Modelos de Organización y desarrollo regional*, Observatorio Medioambiental. I.U.C.A. U.C.M, Madrid.
- Space Imaging (1996): *Carterra. Sampler*. Thornton. USA (Documentación en CD-ROM)
- Space Imaging (1997): *TOPIX TM. Space Imaging*. Thornton. USA (Documentación en CD-ROM)
- Space Imaging (2000): *Carterra. Space Imaging*. Thornton.USA (Documentación en CD-ROM)
- SPOT IMAGE (1988): *Catálogo De los productos SPOT y de los servicios*. SPOT, Toulouse .
- Spencer, A. H. (2000): "The relationship between transport and Land Use", *Geography*, January 2000, pp.82-84.
- Stoddart, D. (1982): "Altas miras para una Geografía de final de siglo". En: J. Gomez (ed): *El pensamiento geográfico*, Alianza, Madrid.
- Sui, D.Z. (1994): "GIS and Urban studies: Positivism, post-Positivism, and beyond", *Urban Studies*, 45, 3, pp.258-278.

- Sui, D.Z. (1998): "GIS-based urban modelling: practices, problems and prospects", *International Journal Geographical Information Sciences*, 12, 7, pp. 651-671.
- Sui, D.Z. (1998): "Deconstructing virtual cities: From unreality to Hyperreality", *Urban Geography*, 19, 7, pp. 657-676.
- Sutton, C. J. (1999): "Land use change along Denver's I-225 beltway", *Journal of Transport Geography*, 7, pp. 31-41.
- Taaffe, E.J., L Howard L. Gauthier, Morton E. O'Kelly. (1996): *Geography of Transportation*, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Unwin, T. (1995): *El Lugar de la Geografía*, Cátedra S.A. , Madrid.
- Vivas, P. (1998): "Un esquema de fusión de datos para la formación de cartografía a escala 1:50.000 desde datos SPOT (P+XS) y SPOT (P) + LANDSAT TM", En V Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. Ordenación del Territorio y Medio Marino. Universidad de Las Palma de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. pp. 907-918.
- VV.AA. (1988): *Trabajos Prácticos de Geografía Humana*, Síntesis, Madrid.
- VV.AA. (1991): *Geografía General II (Geografía Humana)*, Universidad Nacional de Educación a distancia, Madrid.
- Wageningen University. (2000): *Remote Sensing Basics. Digital lectures. Centre for geo-information* (Documentación en CD-ROM)
- Wallace, R. (1994): "A fractal model of HIV transmission on complex socio-geographic networks. Part 2: Spread from a ghettoized "core group" into a "general population", *Environment and Planning A*, 26, pp. 767-778.

- Wang, J., (1992): "Road Network Detection from Spot Imagery for Updating Geographical Information Systems in the Rural- Urban Finge", *International Journal of Geographical Information Systems* ,6 (2), pp.141-157.
- Webster, C.J. (1995): "Urban morphological fingerprints", *Environment and Planning B: Planning and Design* , 22, pp. 279-297.
- Webster, C.J and F. Wu (1999): "Regulation, land-use mix, and urban performance. Part 1: theory", *Environment and Planning A*, 31, pp 1433-1442
- Wilson, A.G. (1980): *Geografía y Planeamiento urbano y regional*, OIKOS-TAU, Barcelona.
- Wingo, L.(1972): *Transporte y suelo urbano*, OIKOS-TAU, Barcelona.
- Wingo, L.(1976): *Ciudades y Espacio*, OIKOS-TAU, S.A Barcelona.
- Wolkowitsch, M. (1973): *Geographie des transports*, Armand Colin, Paris
- Zhang, Y. (2000): "A method for Continuous Extraction of Multispectrally Classified Urban Rivers", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. (PE&RS)*, 66, 8, pp .991-1001.

PAGINAS WEB

Se incluyen en esta lista únicamente las páginas mencionadas en el texto y algunas de carácter muy general utilizadas en la elaboración de algunos apartados de este trabajo. Es imposible incluir todas las páginas consultadas.

- <http://www.aurensa.es>
- <http://www.ceo.org>
- <http://www.cnig.ign.es>
- <http://www.digitalglobe.com>
- <http://www.dlr.de>
- <http://www.earthwatch.com>
- <http://www.erdas.com>
- <http://www.ermapper.com>
- <http://www.esri.com>
- <http://www.eorc.nasda.go.jp/ADEOS/>
- <http://www.esa.it>
- <http://www.eurimage.com>
- <http://www.eurimage.com/einet/>
- <http://www.euromap.de>
- <http://www.ewse.ceo.org>
- <http://www.gaf.de>
- <http://www.genaware.com>
- <http://www.idrisi.clarku.edu>
- <http://www.infocarto.es>
- <http://www.intergraph.com>

- <http://www.itc.nl/ilwis.com>
- <http://www.microimages.com>
- <http://murbandy.sai.jrc.it>
- <http://www.orbimage.com>
- <http://www.pcigeomatics.com>
- <http://www.restec.or.jp>
- <http://www.rsi.com>
- <http://www.rsinc.com>
- <http://www.smallworld.co.uk>
- <http://www.spaceimaging.com>
- <http://www.spin2.com>
- <http://www.spotimage.fr>

ANEXOS

Anexo 1: Evolución Usos del suelo en la Carretera de Burgos 1987-1997

| Nº Clase | Nombre de Clase | Area Pixels |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0 | | 0 |
| 1 | Urbano | 26255 |
| 2 | Urbano A Secano | 1839 |
| 3 | Urbano A VNatural | 3569 |
| 4 | Urbano A EA | 71 |
| 5 | Urbano A Forestal | 1056 |
| 6 | Urbano A Regadio | 218 |
| 7 | Urbano A Agua | 60 |
| 8 | Secano/Urbano | 9799 |
| 9 | Secano | 14077 |
| 10 | Secano/V. Natural | 27633 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 485 |
| 12 | Secano /Forestal | 4860 |
| 13 | Secano/Regadio | 1174 |
| 14 | Secano Agua | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 517 |
| 16 | Regadio A Secano | 454 |
| 17 | RegadioA VNatural | 722 |
| 18 | Regadio A EA | 2 |
| 19 | Regadio A Forestal | 83 |
| 20 | Regadio | 746 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 137 |
| 23 | Forestal A Secano | 111 |
| 24 | Forestal A V Natural | 2485 |
| 25 | Forestal A EA | 50 |
| 26 | Forestal | 4876 |
| 27 | Forestal A Regadio | 25 |
| 28 | Forestal A Agua | 89 |
| 29 | V Natural/Urbano | 7793 |
| 30 | VNatural A Secano | 4587 |
| 31 | V Natural | 54461 |
| 32 | VNatural A EA. | 1944 |
| 33 | V Natural A Forestal | 31729 |
| 34 | VNatural A Regadio | 444 |
| 35 | VNatural A Agua | 42 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 47 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 18 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 1173 |
| 39 | EAbiertos | 0 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 735 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 |
| 43 | Agua A Urbano | 38 |
| 44 | Agua A Secano | 0 |
| 45 | Agua A VNatural | 126 |
| 46 | Agua A EA | 0 |
| 47 | Agua A Forestal | 90 |
| 48 | Agua A REgadio | 0 |
| 49 | Agua | 168 |

| | | |
|--|--------------|---------------|
| | TOTAL | 204788 |
|--|--------------|---------------|

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Evolución Usos del suelo en la Carretera de Barcelona 1987-1997

| Nº Clase | Nombre de Clase | Area Pixels |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0 | | 0 |
| 1 | Urbano | 31629 |
| 2 | Urbano A Secano | 4478 |
| 3 | Urbano A VNatural | 155 |
| 4 | Urbano A EA | 114 |
| 5 | Urbano A Forestal | 40 |
| 6 | Urbano A Regadio | 255 |
| 7 | Urbano A Agua | 0 |
| 8 | Secano/Urbano | 10712 |
| 9 | Secano | 15491 |
| 10 | Secano/V. Natural | 384 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 142 |
| 12 | Secano /Forestal | 161 |
| 13 | Secano/Regadio | 1430 |
| 14 | Secano Agua | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 574 |
| 16 | Regadio A Secano | 5662 |
| 17 | RegadioA VNatural | 251 |
| 18 | Regadio A EA | 49 |
| 19 | Regadio A Forestal | 142 |
| 20 | Regadio | 2091 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 429 |
| 23 | Forestal A Secano | 170 |
| 24 | Forestal A V Natural | 13 |
| 25 | Forestal A EA | 1 |
| 26 | Forestal | 38 |
| 27 | Forestal A Regadio | 282 |
| 28 | Forestal A Agua | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 4871 |
| 30 | VNatural A Secano | 3350 |
| 31 | V Natural | 24 |
| 32 | VNatural A EA. | 100 |
| 33 | V Natural A Forestal | 6 |
| 34 | VNatural A Regadio | 116 |
| 35 | VNatural A Agua | 0 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 0 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 0 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 0 |
| 39 | EAbiertos | 0 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 0 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 |
| 43 | Agua A Urbano | 214 |
| 44 | Agua A Secano | 9 |
| 45 | Agua A VNatural | 3 |
| 46 | Agua A EA | 3 |
| 47 | Agua A Forestal | 0 |
| 48 | Agua A REgadio | 69 |

| | | |
|--|--------------|--------------|
| | TOTAL | 83458 |
|--|--------------|--------------|

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3: Evolución Usos del suelo en la Carretera de Valencia 1987-1997

| Nº Clase | Nombre de Clase | Area Pixels |
|----------|----------------------|-------------|
| 0 | | 0 |
| 1 | Urbano | 20818 |
| 2 | Urbano A Secano | 2618 |
| 3 | Urbano A VNatural | 406 |
| 4 | Urbano A EA | 426 |
| 5 | Urbano A Forestal | 96 |
| 6 | Urbano A Regadio | 462 |
| 7 | Urbano A Agua | 102 |
| 8 | Secano/Urbano | 8346 |
| 9 | Secano | 49902 |
| 10 | Secano/V. Natural | 8674 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 3147 |
| 12 | Secano /Forestal | 272 |
| 13 | Secano/Regadio | 1854 |
| 14 | Secano Agua | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 733 |
| 16 | Regadio A Secano | 1694 |
| 17 | RegadioA VNatural | 2020 |
| 18 | Regadio A EA | 110 |
| 19 | Regadio A Forestal | 211 |
| 20 | Regadio | 4262 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 |
| 22 | Forestal /Urbano | 0 |
| 23 | Forestal A Secano | 455 |
| 24 | Forestal A V Natural | 203 |
| 25 | Forestal A EA | 17 |
| 26 | Forestal | 199 |
| 27 | Forestal A Regadio | 4 |
| 28 | Forestal A Agua | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 4515 |
| 30 | VNatural A Secano | 12715 |
| 31 | V Natural | 20189 |
| 32 | VNatural A EA. | 763 |
| 33 | V Natural A Forestal | 975 |
| 34 | VNatural A Regadio | 2711 |
| 35 | VNatural A Agua | 0 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 63 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 146 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 1312 |
| 39 | EAbiertos | 33 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 4 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 |
| 43 | Agua A Urbano | 43 |
| 44 | Agua A Secano | 153 |
| 45 | Agua A VNatural | 135 |
| 46 | Agua A EA | 8 |

| | | |
|----|-----------------|---------------|
| 47 | Agua A Forestal | 65 |
| 48 | Agua A REgadio | 183 |
| 49 | Agua | 232 |
| | TOTAL | 159633 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4: Evolución Usos del suelo en la Carretera de Andalucía 1987-1997

| Nº Clase | Nombre de Clase | Area Pixels |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0 | | 0 |
| 1 | Urbano | 22068 |
| 2 | Urbano A Secano | 2077 |
| 3 | Urbano A VNatural | 309 |
| 4 | Urbano A EA | 76 |
| 5 | Urbano A Forestal | 117 |
| 6 | Urbano A Regadio | 104 |
| 7 | Urbano A Agua | 0 |
| 8 | Secano/Urbano | 6212 |
| 9 | Secano | 22781 |
| 10 | Secano/V. Natural | 615 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 1610 |
| 12 | Secano /Forestal | 146 |
| 13 | Secano/Regadio | 245 |
| 14 | Secano Agua | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 1103 |
| 16 | Regadio A Secano | 590 |
| 17 | RegadioA VNatural | 64 |
| 18 | Regadio A EA | 0 |
| 19 | Regadio A Forestal | 18 |
| 20 | Regadio | 51 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 471 |
| 23 | Forestal A Secano | 149 |
| 24 | Forestal A V Natural | 113 |
| 25 | Forestal A EA | 0 |
| 26 | Forestal | 561 |
| 27 | Forestal A Regadio | 25 |
| 28 | Forestal A Agua | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 5027 |
| 30 | VNatural A Secano | 3596 |
| 31 | V Natural | 700 |
| 32 | VNatural A EA. | 213 |
| 33 | V Natural A Forestal | 104 |
| 34 | VNatural A Regadio | 45 |
| | TOTAL | 69190 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5: Evolución Usos del suelo en la Carretera de Extremadura 1987-1997

| Nº Clase | Nombre de Clase | Area Pixels |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0 | | 0 |
| 1 | Urbano | 22885 |
| 2 | Urbano A Secano | 2101 |
| 3 | Urbano A VNatural | 1544 |
| 4 | Urbano A EA | 68 |
| 5 | Urbano A Forestal | 616 |
| 6 | Urbano A Regadio | 6 |
| 7 | Urbano A Agua | 50 |
| 8 | Secano/Urbano | 7394 |
| 9 | Secano | 32292 |
| 10 | Secano/V. Natural | 861 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 1144 |
| 12 | Secano /Forestal | 554 |
| 13 | Secano/Regadio | 335 |
| 14 | Secano Agua | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 142 |
| 16 | Regadio A Secano | 185 |
| 17 | RegadioA VNatural | 42 |
| 18 | Regadio A EA | 1 |
| 19 | Regadio A Forestal | 0 |
| 20 | Regadio | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 1309 |
| 23 | Forestal A Secano | 780 |
| 24 | Forestal A V Natural | 1619 |
| 25 | Forestal A EA | 10 |
| 26 | Forestal | 1933 |
| 27 | Forestal A Regadio | 356 |
| 28 | Forestal A Agua | 2 |
| 29 | V Natural/Urbano | 4187 |
| 30 | VNatural A Secano | 4333 |
| 31 | V Natural | 1883 |
| 32 | VNatural A EA. | 80 |
| 33 | V Natural A Forestal | 585 |
| 34 | VNatural A Regadio | 297 |
| 35 | Vnatural A Agua | 0 |
| 36 | EA/urbano | 0 |
| 37 | EA/Secano | 0 |
| 38 | EA/Vnatural | 0 |
| 39 | Espacios Abiertos | 0 |
| 40 | EA/Forestal | 0 |
| 41 | EA/Regadio | 0 |
| 42 | EA/Agua | 0 |
| 43 | Agua/Urbano | 12 |
| 44 | Agua/Secano | 2 |
| 45 | Agua/Vnatural | 159 |
| 46 | Agua/EA | 0 |
| 47 | Agua/Forestal | 51 |
| TOTAL | | 87818 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6: Evolución Usos del suelo en la Carretera de La Coruña 1987-1997

| Nº Clase | Nombre de Clase | Area Pixels |
|-----------------|------------------------|--------------------|
| 0 | | 0 |
| 1 | Urbano | 41093 |
| 2 | Urbano A Secano | 303 |
| 3 | Urbano A VNatural | 4430 |
| 4 | Urbano A EA | 18 |
| 5 | Urbano A Forestal | 1689 |
| 6 | Urbano A Regadio | 0 |
| 7 | Urbano A Agua | 0 |
| 8 | Secano/Urbano | 2921 |
| 9 | Secano | 142 |
| 10 | Secano/V. Natural | 7568 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 393 |
| 12 | Secano /Forestal | 2245 |
| 13 | Secano/Regadio | 0 |
| 14 | Secano Agua | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 0 |
| 16 | Regadio A Secano | 0 |
| 17 | RegadioA VNatural | 0 |
| 18 | Regadio A EA | 0 |
| 19 | Regadio A Forestal | 0 |
| 20 | Regadio | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 2387 |
| 23 | Forestal A Secano | 155 |
| 24 | Forestal A V Natural | 3280 |
| 25 | Forestal A EA | 18 |
| 26 | Forestal | 4764 |
| 27 | Forestal A Regadio | 0 |
| 28 | Forestal A Agua | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 15935 |
| 30 | VNatural A Secano | 907 |
| 31 | V Natural | 27372 |
| 32 | VNatural A EA. | 107 |
| 33 | V Natural A Forestal | 12695 |
| 34 | VNatural A Regadio | 0 |
| 35 | VNatural A Agua | 167 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 0 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 0 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 0 |
| 39 | EAbiertos | 0 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 0 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 |
| 43 | Agua A Urbano | 90 |
| 44 | Agua A Secano | 0 |
| 45 | Agua A VNatural | 80 |
| 46 | Agua A EA | 0 |

| | | |
|----|-----------------|---------------|
| 47 | Agua A Forestal | 54 |
| 48 | Agua A REgadio | 0 |
| 49 | Agua | 16 |
| | TOTAL | 128829 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 7: Cambios de usos del suelo en las carreteras (1987-1997)

Fuente: Elaboración propia

| CAMBIOS A URBANO | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------|----------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 % | N2 Pixels | N2% | N3 Pixels | N3% | N4 Pixels | N4% | N5 Pixels | N5% | N6 Pixels | N6% |
| 8 | Secano/Urbano | 45.384 | 15,059 | 9.799 | 3,25 | 10712 | 3,554 | 8346 | 2,769 | 6212 | 2,06 | 7394 | 2,453 | 2921 | 0,969 |
| 15 | Regadio/Urbano | 3.069 | 1,018 | 517 | 0,17 | 574 | 0,190 | 733 | 0,243 | 1103 | 0,37 | 142 | 0,047 | 0 | 0,000 |
| 22 | Forestal /Urbano | 4.699 | 1,559 | 137 | 0,05 | 429 | 0,142 | 0 | 0 | 471 | 0,16 | 1309 | 0,434 | 2387 | 0,792 |
| 29 | V Natural/Urbano | 42.328 | 14,045 | 7.793 | 2,59 | 4871 | 1,616 | 4515 | 1,498 | 5027 | 1,67 | 4187 | 1,389 | 15935 | 5,288 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | 0,036 | 47 | 0,02 | 0 | 0,000 | 63 | 0,021 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | 0,132 | 38 | 0,01 | 214 | 0,071 | 43 | 0,014 | 0 | 0 | 12 | 0,004 | 90 | 0,030 |
| TOTAL | | 95.987 | 31,850 | 18331 | 6,08 | 16800 | 5,57 | 13700 | 4,55 | 12813 | 4,25 | 13044 | 4,33 | 2333 | 7,08 |
| A SECANO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 % | N2 Pixels | N2% | N3 Pixels | N3% | N4 Pixels | N4% | N5 Pixels | N5% | N6 Pixels | N6% |
| 2 | Urbano A Secano | 13.416 | 4,452 | 1.839 | 0,61 | 4478 | 1,486 | 2618 | 0,869 | 2077 | 0,69 | 2101 | 0,697 | 303 | 0,101 |
| 16 | Regadio A Secano | 8.585 | 2,849 | 454 | 0,15 | 5662 | 1,879 | 1694 | 0,562 | 590 | 0,2 | 185 | 0,061 | 0 | 0,000 |
| 23 | Forestal A Secano | 1.820 | 0,604 | 111 | 0,04 | 170 | 0,056 | 455 | 0,151 | 149 | 0,05 | 780 | 0,259 | 155 | 0,051 |
| 30 | VNatural A Secano | 29.488 | 9,785 | 4.587 | 1,52 | 3350 | 1,112 | 12715 | 4,219 | 3596 | 1,19 | 4333 | 1,438 | 907 | 0,301 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | 0,054 | 18 | 0,01 | 0 | 0,000 | 146 | 0,048 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 44 | Agua A Secano | 164 | 0,054 | 0 | 0,00 | 9 | 0,003 | 153 | 0,051 | 0 | 0 | 2 | 0,0007 | 0 | 0,000 |
| TOTAL | | 53.637 | 17,798 | 7009 | 2,33 | 13669 | 4,54 | 17781 | 5,9 | 6412 | 2,13 | 7401 | 2,46 | 1365 | 0,45 |
| A REGADIO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 % | N2 Pixels | N2% | N3 Pixels | N3% | N4 Pixels | N4% | N5 Pixels | N5% | N6 Pixels | N6% |
| 6 | Urbano A Regadio | 1.045 | 0,347 | 218 | 0,07 | 255 | 0,085 | 462 | 0,153 | 104 | 0,03 | 6 | 0,002 | 0 | 0,000 |
| 13 | Secano/Regadio | 5.038 | 1,672 | 1.174 | 0,39 | 1430 | 0,474 | 1854 | 0,615 | 245 | 0,08 | 335 | 0,111 | 0 | 0,000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|------------------|-------------|
| 27 | Forestal A Regadio | 692 | 0,230 | 25 | 0,01 | 282 | 0,094 | 4 | 0,001 | 25 | 0,01 | 356 | 0,118 | 0 | 0,000 |
| 34 | VNatural A Regadio | 3.613 | 1,199 | 444 | 0,15 | 116 | 0,038 | 2711 | 0,9 | 45 | 0,01 | 297 | 0,099 | 0 | 0,000 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | 0,006 | 0 | 0,00 | 0 | 0,000 | 19 | 0,006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | 0,084 | 0 | 0,00 | 69 | 0,023 | 183 | 0,061 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 10.659 | 3,537 | 1861 | 0,62 | 2152 | 0,71 | 5233 | 1,74 | 419 | 0,14 | 994 | 0,33 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A FORESTAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 % | N2 Pixels | N2% | N3 Pixels | N3% | N4 Pixels | N4% | N5 Pixels | N5% | N6 Pixels | N6% |
| 5 | Urbano A Forestal | 3.614 | 1,199 | 1.056 | 0,35 | 40 | 0,013 | 96 | 0,032 | 117 | 0,04 | 616 | 0,204 | 1689 | 0,560 |
| 12 | Secano /Forestal | 8.238 | 2,734 | 4.860 | 1,61 | 161 | 0,053 | 272 | 0,09 | 146 | 0,05 | 554 | 0,184 | 2245 | 0,745 |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 0,151 | 83 | 0,03 | 142 | 0,047 | 211 | 0,07 | 18 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46.094 | 15,295 | 31.729 | 10,53 | 6 | 0,002 | 975 | 0,324 | 104 | 0,03 | 585 | 0,194 | 12695 | 4,212 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | 0,245 | 735 | 0,24 | 0 | 0,000 | 4 | 0,001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | 0,086 | 90 | 0,03 | 0 | 0,000 | 65 | 0,022 | 0 | 0 | 51 | 0,017 | 54 | 0,018 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 59.399 | 19,710 | 38553 | 12,79 | 349 | 0,12 | 1623 | 0,54 | 385 | 0,13 | 1806 | 0,60 | 16683 | 5,54 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A VEGETACION NATURAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 % | N2 Pixels | N2% | N3 Pixels | N3% | N4 Pixels | N4% | N5 Pixels | N5% | N6 Pixels | N6% |
| 3 | Urbano A VNatural | 10.413 | 3,455 | 3.569 | 1,18 | 155 | 0,051 | 406 | 0,135 | 309 | 0,1 | 1544 | 0,512 | 4430 | 1,470 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45.735 | 15,176 | 27.633 | 9,17 | 384 | 0,127 | 8674 | 2,878 | 615 | 0,2 | 861 | 0,286 | 7568 | 2,511 |
| 17 | RegadioA VNatural | 3.099 | 1,028 | 722 | 0,24 | 251 | 0,083 | 2020 | 0,67 | 64 | 0,02 | 42 | 0,014 | 0 | 0,000 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7.713 | 2,559 | 2.485 | 0,82 | 13 | 0,004 | 203 | 0,067 | 113 | 0,04 | 1619 | 0,537 | 3280 | 1,088 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2.485 | 0,825 | 1.173 | 0,39 | 0 | 0,000 | 1312 | 0,435 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | 0,167 | 126 | 0,04 | 3 | 0,001 | 135 | 0,045 | 0 | 0 | 159 | 0,053 | 80 | 0,027 |
| TOTAL | | 69.948 | 23,210 | 35708 | 11,85 | 806 | 0,27 | 12750 | 4,23 | 1101 | 0,37 | 4225 | 1,40 | 15358 | 5,10 |

| A ESPACIOS ABIERTOS | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|----------------------|---------------|----------------------|--------------|----------------------|-------------|----------------------|--------------|------------------|---------------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 % | N2 Pixels | N2% | N3 Pixels | N3% | N4 Pixels | N4% | N5 Pixels | N5% | N6 Pixels | N6% |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 0,256 | 71 | 0,02 | 114 | 0,038 | 426 | 0,141 | 76 | 0,03 | 68 | 0,023 | 18 | 0,006 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6.921 | 2,297 | 485 | 0,16 | 142 | 0,047 | 3147 | 1,044 | 1610 | 0,53 | 1144 | 0,38 | 393 | 0,130 |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 0,054 | 2 | 0,00 | 49 | 0,016 | 110 | 0,036 | 0 | 0 | 1 | 0,0003 | 0 | 0,000 |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 0,032 | 50 | 0,02 | 1 | 0,000 | 17 | 0,006 | 0 | 0 | 10 | 0,003 | 18 | 0,006 |
| 32 | VNatural A EA. | 3.207 | 1,064 | 1.944 | 0,65 | 100 | 0,033 | 763 | 0,253 | 213 | 0,07 | 80 | 0,027 | 107 | 0,036 |
| 46 | Agua A EA | 11 | 0,004 | 0 | 0,00 | 3 | 0,001 | 8 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 11.170 | 3,706 | 2552 | 0,85 | 409 | 0,14 | 4471 | 1,48 | 1899 | 0,63 | 1303 | 0,43 | 536 | 0,18 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A AGUA | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 % | N2 Pixels | N2% | N3 Pixels | N3% | N4 Pixels | N4% | N5 Pixels | N5% | N6 Pixels | N6% |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 0,070 | 60 | 0,02 | 0 | 0,000 | 102 | 0,034 | 0 | 0 | 50 | 0,017 | 0 | 0,000 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0,000 | 0 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0,020 | 0 | 0,00 | 0 | 0,000 | 59 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 0,030 | 89 | 0,03 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,0007 | 0 | 0,000 |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | 0,069 | 42 | 0,01 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 167 | 0,055 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | 0,000 | 0 | 0,00 | 0 | 0,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 |
| TOTAL | | 571 | 0,189 | 191 | 0,06 | 0 | 0,00 | 161 | 0,05 | 0 | 0,00 | 52 | 0,02 | 167 | 0,055 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL CAMBIOS | | 301.371 | 100,000 | 104.205 | 34,58 | 34185 | 11,343 | 55719 | 18,49 | 23029 | 7,64 | 28825 | 9,565 | 55442 | 18,397 |

Anexo 8: Procedencia de los cambios 1.

Fuente: elaboración propia

| A URBANO | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 1CC | N2 Pixels | N2 1CC | N3 Pixels | N3 1CC | N4 Pixels | N4 1CC | N5 Pixels | N5 1CC | N6 Pixels | N6 1CC | SUMA |
| 8 | Secano/Urbano | 45.384 | 9.799 | 21,59 | 10712 | 23,60 | 8346 | 18,39 | 6212 | 13,69 | 7394 | 16,29 | 2921 | 6,44 | 100 |
| 15 | Regadio/Urbano | 3.069 | 517 | 16,85 | 574 | 18,70 | 733 | 23,88 | 1103 | 35,94 | 142 | 4,63 | 0 | 0,00 | 100 |
| 22 | Forestal /Urbano | 4.699 | 137 | 2,92 | 429 | 9,13 | 0 | 0,00 | 471 | 10,02 | 1309 | 27,86 | 2387 | 50,80 | 100 |
| 29 | V Natural/Urbano | 42.328 | 7.793 | 18,41 | 4871 | 11,51 | 4515 | 10,67 | 5027 | 11,88 | 4187 | 9,89 | 15935 | 37,65 | 100 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | 47 | 42,73 | 0 | 0,00 | 63 | 57,27 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | 38 | 9,57 | 214 | 53,90 | 43 | 10,83 | 0 | 0,00 | 12 | 3,02 | 90 | 22,67 | 100 |
| TOTAL | | 95.987 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A URBANO | | 15997,83 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A SECANO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 1CC | N2 Pixels | N2 1CC | N3 Pixels | N3 1CC | N4 Pixels | N4 1CC | N5 Pixels | N5 1CC | N6 Pixels | N6 1CC | SUMA |
| 2 | Urbano A Secano | 13.416 | 1.839 | 13,71 | 4478 | 33,38 | 2618 | 19,51 | 2077 | 15,48 | 2101 | 15,66 | 303 | 2,26 | 100 |
| 16 | Regadio A Secano | 8.585 | 454 | 5,29 | 5662 | 65,95 | 1694 | 19,73 | 590 | 6,87 | 185 | 2,15 | 0 | 0,00 | 100 |
| 23 | Forestal A Secano | 1.820 | 111 | 6,10 | 170 | 9,34 | 455 | 25,00 | 149 | 8,19 | 780 | 42,86 | 155 | 8,52 | 100 |
| 30 | VNatural A Secano | 29.488 | 4.587 | 15,56 | 3350 | 11,36 | 12715 | 43,12 | 3596 | 12,19 | 4333 | 14,69 | 907 | 3,08 | 100 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | 18 | 10,98 | 0 | 0,00 | 146 | 89,02 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| 44 | Agua A Secano | 164 | 0 | 0,00 | 9 | 5,49 | 153 | 93,29 | 0 | 0,00 | 2 | 1,22 | 0 | 0,00 | 100 |
| TOTAL | | 53.637 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A SECANO | | 8939,50 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

| A REGADIO | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 1CC | N2 Pixels | N2 1CC | N3 Pixels | N3 1CC | N4 Pixels | N4 1CC | N5 Pixels | N5 1CC | N6 Pixels | N6 1CC | SUMA |
| 6 | Urbano A Regadio | 1.045 | 218 | 20,86 | 255 | 24,40 | 462 | 44,21 | 104 | 9,95 | 6 | 0,57 | 0 | 0,00 | 100 |
| 13 | Secano/Regadio | 5.038 | 1.174 | 23,30 | 1430 | 28,38 | 1854 | 36,80 | 245 | 4,86 | 335 | 6,65 | 0 | 0,00 | 100 |
| 27 | Forestal A Regadio | 692 | 25 | 3,61 | 282 | 40,75 | 4 | 0,58 | 25 | 3,61 | 356 | 51,45 | 0 | 0,00 | 100 |
| 34 | VNatural A Regadio | 3.613 | 444 | 12,29 | 116 | 3,21 | 2711 | 75,03 | 45 | 1,25 | 297 | 8,22 | 0 | 0,00 | 100 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 19 | 100,0 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | 0 | 0,00 | 69 | 27,38 | 183 | 72,62 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| TOTAL | | 10.659 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A REGADIO | | 1776,50 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A FORESTAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 1CC | N2 Pixels | N2 1CC | N3 Pixels | N3 1CC | N4 Pixels | N4 1CC | N5 Pixels | N5 1CC | N6 Pixels | N6 1CC | SUMA |
| 5 | Urbano A Forestal | 3.614 | 1.056 | 29,22 | 40 | 1,11 | 96 | 2,66 | 117 | 3,24 | 616 | 17,04 | 1689 | 46,73 | 100 |
| 12 | Secano /Forestal | 8.238 | 4.860 | 58,99 | 161 | 1,95 | 272 | 3,30 | 146 | 1,77 | 554 | 6,72 | 2245 | 27,25 | 100 |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 83 | 18,28 | 142 | 31,28 | 211 | 46,48 | 18 | 3,96 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46.094 | 31.729 | 68,84 | 6 | 0,01 | 975 | 2,12 | 104 | 0,23 | 585 | 1,27 | 12695 | 27,54 | 100 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | 735 | 99,46 | 0 | 0,00 | 4 | 0,54 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | 90 | 34,62 | 0 | 0,00 | 65 | 25,00 | 0 | 0,00 | 51 | 19,62 | 54 | 20,77 | 100 |
| TOTAL | | 59.399 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A FORESTAL | | 9899,83 | | | | | | | | | | | | | |

| A VEGETACION NATURAL | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 1CC | N2 Pixels | N2 1CC | N3 Pixels | N3 1CC | N4 Pixels | N4 1CC | N5 Pixels | N5 1CC | N6 Pixels | N6 1CC | SUMA |
| 3 | Urbano A VNatural | 10.413 | 3.569 | 34,27 | 155 | 1,49 | 406 | 3,90 | 309 | 2,97 | 1544 | 14,83 | 4430 | 42,54 | 100 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45.735 | 27.633 | 60,42 | 384 | 0,84 | 8674 | 18,97 | 615 | 1,34 | 861 | 1,88 | 7568 | 16,55 | 100 |
| 17 | RegadioA VNatural | 3.099 | 722 | 23,30 | 251 | 8,10 | 2020 | 65,18 | 64 | 2,07 | 42 | 1,36 | 0 | 0,00 | 100 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7.713 | 2.485 | 32,22 | 13 | 0,17 | 203 | 2,63 | 113 | 1,47 | 1619 | 20,99 | 3280 | 42,53 | 100 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2.485 | 1.173 | 47,20 | 0 | 0,00 | 1312 | 52,80 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | 126 | 25,05 | 3 | 0,60 | 135 | 26,84 | 0 | 0,00 | 159 | 31,61 | 80 | 15,90 | 100 |
| TOTAL | | 69.948 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A VEGETACION NATURAL | | 11658,00 | | | | | | | | | | | | | |
| A ESPACIOS ABIERTOS | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 1CC | N2 Pixels | N2 1CC | N3 Pixels | N3 1CC | N4 Pixels | N4 1CC | N5 Pixels | N5 1CC | N6 Pixels | N6 1CC | SUMA |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 71 | 9,18 | 114 | 14,75 | 426 | 55,11 | 76 | 9,83 | 68 | 8,80 | 18 | 2,33 | 100 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6.921 | 485 | 7,01 | 142 | 2,05 | 3147 | 45,47 | 1610 | 23,26 | 1144 | 16,53 | 393 | 5,68 | 100 |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 2 | 1,23 | 49 | 30,25 | 110 | 67,90 | 0 | 0,00 | 1 | 0,62 | 0 | 0,00 | 100 |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 50 | 52,08 | 1 | 1,04 | 17 | 17,71 | 0 | 0,00 | 10 | 10,42 | 18 | 18,75 | 100 |
| 32 | VNatural A EA. | 3.207 | 1.944 | 60,62 | 100 | 3,12 | 763 | 23,79 | 213 | 6,64 | 80 | 2,49 | 107 | 3,34 | 100 |
| 46 | Agua A EA | 11 | 0 | 0,00 | 3 | 27,27 | 8 | 72,73 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| TOTAL | | 11.170 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A EABIERTOS | | 1861,67 | | | | | | | | | | | | | |

| A AGUA | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 1CC | N2 Pixels | N2 1CC | N3 Pixels | N3 1CC | N4 Pixels | N4 1CC | N5 Pixels | N5 1CC | N6 Pixels | N6 1CC | SUMA |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 60 | 28,30 | 0 | 0,00 | 102 | 48,11 | 0 | 0,00 | 50 | 23,58 | 0 | 0,00 | 100 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 59 | 100,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 100 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 89 | 97,80 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2 | 2,20 | 0 | 0,00 | 100 |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | 42 | 20,10 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 167 | 79,90 | 100 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 |
| TOTAL | | 571 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A AGUA | | 95,17 | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 9 Procedencia de Cambios 2.

Fuente :Elaboración Propia

| A URBANO | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 2CC | N2 Pixels | N2 2CC | N3 Pixels | N3 2CC | N4 Pixels | N4 2CC | N5 Pixels | N5 2CC | N6 Pixels | N6 2CC | SUMA |
| 8 | Secano/Urbano | 45.384 | 9.799 | 129,55 | 10712 | 141,62 | 8346 | 110,34 | 6212 | 82,13 | 7394 | 97,75 | 2921 | 38,62 | 600 |
| 15 | Regadio/Urbano | 3.069 | 517 | 101,08 | 574 | 112,22 | 733 | 143,30 | 1103 | 215,64 | 142 | 27,76 | 0 | 0,00 | 600 |
| 22 | Forestal /Urbano | 4.699 | 137 | 17,49 | 429 | 54,78 | 0 | 0,00 | 471 | 60,14 | 1309 | 167,14 | 2387 | 304,79 | 600 |
| 29 | V Natural/Urbano | 42.328 | 7.793 | 110,47 | 4871 | 69,05 | 4515 | 64,00 | 5027 | 71,26 | 4187 | 59,35 | 15935 | 225,88 | 600 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | 47 | 256,41 | 0 | 0,00 | 63 | 343,70 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | 38 | 57,44 | 214 | 323,46 | 43 | 64,99 | 0 | 0,00 | 12 | 18,14 | 90 | 136,03 | 600 |
| A SECANO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 2CC | N2 Pixels | N2 2CC | N3 Pixels | N3 2CC | N4 Pixels | N4 2CC | N5 Pixels | N5 2CC | N6 Pixels | N6 2CC | SUMA |
| 2 | Urbano A Secano | 13.416 | 1.839 | 82,25 | 4478 | 200,27 | 2618 | 117,08 | 2077 | 92,89 | 2101 | 93,96 | 303 | 13,55 | 600 |
| 16 | Regadio A Secano | 8.585 | 454 | 31,73 | 5662 | 395,71 | 1694 | 118,39 | 590 | 41,23 | 185 | 12,93 | 0 | 0,00 | 600 |
| 23 | Forestal A Secano | 1.820 | 111 | 36,59 | 170 | 56,04 | 455 | 150,00 | 149 | 49,12 | 780 | 257,15 | 155 | 51,10 | 600 |
| 30 | VNatural A Secano | 29.488 | 4.587 | 93,33 | 3350 | 68,16 | 12715 | 258,72 | 3596 | 73,17 | 4333 | 88,16 | 907 | 18,45 | 600 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | 18 | 65,86 | 0 | 0,00 | 146 | 534,21 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| 44 | Agua A Secano | 164 | 0 | 0,00 | 9 | 32,93 | 153 | 559,82 | 0 | 0,00 | 2 | 7,32 | 0 | 0,00 | 600 |
| A REGADIO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 2CC | N2 Pixels | N2 2CC | N3 Pixels | N3 2CC | N4 Pixels | N4 2CC | N5 Pixels | N5 2CC | N6 Pixels | N6 2CC | SUMA |
| 6 | Urbano A Regadio | 1.045 | 218 | 125,17 | 255 | 146,41 | 462 | 265,26 | 104 | 59,71 | 6 | 3,44 | 0 | 0,00 | 600 |
| 13 | Secano/Regadio | 5.038 | 1.174 | 139,82 | 1430 | 170,31 | 1854 | 220,80 | 245 | 29,18 | 335 | 39,90 | 0 | 0,00 | 600 |
| 27 | Forestal A | 692 | 25 | 21,68 | 282 | 244,52 | 4 | 3,47 | 25 | 21,68 | 356 | 308,6 | 0 | 0,00 | 600 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------|
| | Regadio | | | | | | | | | | | 8 | | | |
| 34 | VNatural A Regadio | 3.613 | 444 | 73,73 | 116 | 19,26 | 2711 | 450,21 | 45 | 7,47 | 297 | 49,32 | 0 | 0,00 | 600 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 19 | 600,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | 0 | 0,00 | 69 | 164,29 | 183 | 435,71 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A FORESTAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 2CC | N2 Pixels | N2 2CC | N3 Pixels | N3 2CC | N4 Pixels | N4 2CC | N5 Pixels | N5 2CC | N6 Pixels | N6 2CC | SUMA |
| 5 | Urbano A Forestal | 3.614 | 1.056 | 175,32 | 40 | 6,64 | 96 | 15,94 | 117 | 19,42 | 616 | 102,27 | 1689 | 280,41 | 600 |
| 12 | Secano /Forestal | 8.238 | 4.860 | 353,97 | 161 | 11,73 | 272 | 19,81 | 146 | 10,63 | 554 | 40,35 | 2245 | 163,51 | 600 |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 83 | 109,69 | 142 | 187,66 | 211 | 278,84 | 18 | 23,79 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46.094 | 31.729 | 413,01 | 6 | 0,08 | 975 | 12,69 | 104 | 1,35 | 585 | 7,61 | 12695 | 165,25 | 600 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | 735 | 596,75 | 0 | 0,00 | 4 | 3,25 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | 90 | 207,71 | 0 | 0,00 | 65 | 150,01 | 0 | 0,00 | 51 | 117,70 | 54 | 124,62 | 600 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A VEGETACIÓN NATURAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 2CC | N2 Pixels | N2 2CC | N3 Pixels | N3 2CC | N4 Pixels | N4 2CC | N5 Pixels | N5 2CC | N6 Pixels | N6 2CC | SUMA |
| 3 | Urbano A VNatural | 10.413 | 3.569 | 205,65 | 155 | 8,93 | 406 | 23,39 | 309 | 17,80 | 1544 | 88,97 | 4430 | 255,26 | 600 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45.735 | 27.633 | 362,52 | 384 | 5,04 | 8674 | 113,79 | 615 | 8,07 | 861 | 11,30 | 7568 | 99,29 | 600 |
| 17 | RegadioA VNatural | 3.099 | 722 | 139,79 | 251 | 48,60 | 2020 | 391,09 | 64 | 12,39 | 42 | 8,13 | 0 | 0,00 | 600 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7.713 | 2.485 | 193,31 | 13 | 1,01 | 203 | 15,79 | 113 | 8,79 | 1619 | 125,94 | 3280 | 255,15 | 600 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2.485 | 1.173 | 283,22 | 0 | 0,00 | 1312 | 316,79 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |

| 45 | Agua A VNatural | 503 | 126 | 150,30 | 3 | 3,58 | 135 | 161,04 | 0 | 0,00 | 159 | 189,67 | 80 | 95,43 | 600 |
|----------------------------|----------------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A ESPACIOS ABIERTOS | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 2CC | N2 Pixels | N2 2CC | N3 Pixels | N3 2CC | N4 Pixels | N4 2CC | N5 Pixels | N5 2CC | N6 Pixels | N6 2CC | SUMA |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 71 | 55,11 | 114 | 88,49 | 426 | 330,67 | 76 | 58,99 | 68 | 52,78 | 18 | 13,97 | 600 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6.921 | 485 | 42,05 | 142 | 12,31 | 3147 | 272,82 | 1610 | 139,58 | 1144 | 99,18 | 393 | 34,07 | 600 |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 2 | 7,41 | 49 | 181,48 | 110 | 407,41 | 0 | 0,00 | 1 | 3,70 | 0 | 0,00 | 600 |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 50 | 312,50 | 1 | 6,25 | 17 | 106,25 | 0 | 0,00 | 10 | 62,50 | 18 | 112,50 | 600 |
| 32 | VNatural A EA. | 3.207 | 1.944 | 363,70 | 100 | 18,71 | 763 | 142,75 | 213 | 39,85 | 80 | 14,97 | 107 | 20,02 | 600 |
| 46 | Agua A EA | 11 | 0 | 0,00 | 3 | 163,64 | 8 | 436,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A AGUA | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | N1 Pixels | N1 2CC | N2 Pixels | N2 2CC | N3 Pixels | N3 2CC | N4 Pixels | N4 2CC | N5 Pixels | N5 2CC | N6 Pixels | N6 2CC | SUMA |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 60 | 169,83 | 0 | 0,00 | 102 | 288,71 | 0 | 0,00 | 50 | 141,52 | 0 | 0,00 | 600 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 59 | 600,20 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 600 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 89 | 586,68 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2 | 13,18 | 0 | 0,00 | 600 |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | 42 | 120,58 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 167 | 479,43 | 600 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 |

Anexo 9-1: Procedencia de Cambios 2

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| CAMBIO MEDIO A URBANO | 15997,83 |
| CAMBIO MEDIO de secoano | 7564,00 |
| CAMBIO MEDIO de regadio | 511,50 |
| CAMBIO MEDIO de forestal | 783,17 |
| CAMBIO MEDIO de vegnatural | 7054,67 |
| CAMBIO MEDIO de EA | 18,3333333 |
| CAMBIO MEDIO de agua | 66,1666667 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9-2: Procedencia de Cambios 2

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| CAMBIO MEDIO A SECANO | 8939,50 |
| CAMBIO MEDIO de urbano | 2236,00 |
| CAMBIO MEDIO de regadio | 1430,83 |
| CAMBIO MEDIO de forestal | 303,33 |
| CAMBIO MEDIO de vegnatural | 4914,67 |
| CAMBIO MEDIO de EA | 27,3333333 |
| CAMBIO MEDIO de agua | 27,3333333 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9-3: Procedencia de Cambios 2

| | |
|-----------------------------------|------------------|
| CAMBIO MEDIO A REGADIO | 1776,50 |
| CAMBIO MEDIO de urbano | 174,17 |
| CAMBIO MEDIO de secoano | 839,67 |
| CAMBIO MEDIO de forestal | 115,33 |
| CAMBIO MEDIO de vegnatural | 602,17 |
| CAMBIO MEDIO de EA | 3,1666667 |
| CAMBIO MEDIO de agua | 42 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9-4: Procedencia de Cambios 2

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| CAMBIO MEDIO A FORESTAL | 9899,83 |
| CAMBIO MEDIO de urbano | 602,33 |
| CAMBIO MEDIO de secoano | 1373,00 |
| CAMBIO MEDIO de regadio | 75,67 |
| CAMBIO MEDIO de vegnatural | 7682,33 |
| CAMBIO MEDIO de EA | 123,166667 |
| CAMBIO MEDIO de agua | 43,3333333 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9-5: Procedencia de Cambios 2

| | |
|------------------------------------------|--------------------|
| CAMBIO MEDIO A VEGETACION NATURAL | 11658,00 |
| CAMBIO MEDIO de urbano | 1735,50 |
| CAMBIO MEDIO de secoano | 7622,50 |
| CAMBIO MEDIO de regadio | 516,50 |
| CAMBIO MEDIO de forestal | 1285,50 |
| CAMBIO MEDIO de EA | 414,166667 |
| CAMBIO MEDIO de agua | 83,83333333 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9-6: Procedencia de Cambios 2

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| CAMBIO MEDIO A EABIERTOS | 1861,67 |
| CAMBIO MEDIO de urbano | 128,83 |
| CAMBIO MEDIO de secoano | 1153,50 |
| CAMBIO MEDIO de regadio | 27,00 |
| CAMBIO MEDIO de forestal | 16,00 |
| CAMBIO MEDIO de Vnatura | 534,5 |
| CAMBIO MEDIO de agua | 1,833333333 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9-7: Procedencia de Cambios 2

| | |
|---------------------------------|---------------|
| CAMBIO MEDIO A AGUA | 95,17 |
| CAMBIO MEDIO de urbano | 35,33 |
| CAMBIO MEDIO de secoano | 0,00 |
| CAMBIO MEDIO de regadio | 9,83 |
| CAMBIO MEDIO de forestal | 15,17 |
| CAMBIO MEDIO de Vnatura | 34,833 |
| CAMBIO MEDIO de EA | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Procedencia de los cambios 3

Fuente: Elaboración propia

| A URBANO | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 3CC | N2 Pixels | N2 3CC | N3 Pixels | N3 3CC | N4 Pixels | N4 3CC | N5 Pixels | N5 3CC | N6 Pixels | N6 3CC |
| 8 | Secano/Urbano | 45.384 | 283,69 | 9.799 | 367,51 | 10712 | 401,75 | 8346 | 313,02 | 6212 | 232,98 | 7394 | 277,31 | 2921 | 109,55 |
| 15 | Regadio/Urbano | 3.069 | 19,18 | 517 | 19,39 | 574 | 21,53 | 733 | 27,49 | 1103 | 41,37 | 142 | 5,33 | 0 | 0,00 |
| 22 | Forestal /Urbano | 4.699 | 29,37 | 137 | 5,14 | 429 | 16,09 | 0 | 0,00 | 471 | 17,66 | 1309 | 49,09 | 2387 | 89,52 |
| 29 | V Natural/Urbano | 42.328 | 264,59 | 7.793 | 292,28 | 4871 | 182,69 | 4515 | 169,34 | 5027 | 188,54 | 4187 | 157,03 | 15935 | 597,64 |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | 0,69 | 47 | 1,76 | 0 | 0,00 | 63 | 2,36 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | 2,48 | 38 | 1,43 | 214 | 8,03 | 43 | 1,61 | 0 | 0,00 | 12 | 0,45 | 90 | 3,38 |
| TOTAL | | 95.987 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A URBANO | | 15997,83 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A URBANO EN CARRETERAS | | | | 2666,31 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A SECANO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 3CC | N2 Pixels | N2 3CC | N3 Pixels | N3 3CC | N4 Pixels | N4 3CC | N5 Pixels | N5 3CC | N6 Pixels | N6 3CC |
| 2 | Urbano A Secano | 13.416 | 150,08 | 1.839 | 123,43 | 4478 | 300,55 | 2618 | 175,71 | 2077 | 139,40 | 2101 | 141,01 | 303 | 20,34 |
| 16 | Regadio A Secano | 8.585 | 96,03 | 454 | 30,47 | 5662 | 380,02 | 1694 | 113,70 | 590 | 39,60 | 185 | 12,42 | 0 | 0,00 |
| 23 | Forestal A Secano | 1.820 | 20,36 | 111 | 7,45 | 170 | 11,41 | 455 | 30,54 | 149 | 10,00 | 780 | 52,35 | 155 | 10,40 |
| 30 | VNatural A Secano | 29.488 | 329,86 | 4.587 | 307,87 | 3350 | 224,84 | 12715 | 853,40 | 3596 | 241,36 | 4333 | 290,82 | 907 | 60,88 |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | 1,83 | 18 | 1,21 | 0 | 0,00 | 146 | 9,80 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 44 | Agua A Secano | 164 | 1,83 | 0 | 0,00 | 9 | 0,60 | 153 | 10,27 | 0 | 0,00 | 2 | 0,13 | 0 | 0,00 |
| TOTAL | | 53.637 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A SECANO | | 8939,50 | | | | | | | | | | | | | |

| CAMBIO MEDIO A SECANO EN CARRETERAS | | | | 1489,92 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A REGADIO | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 3CC | N2 Pixels | N2 3CC | N3 Pixels | N3 3CC | N4 Pixels | N4 3CC | N5 Pixels | N5 3CC | N6 Pixels | N6 3CC |
| 6 | Urbano A Regadio | 1.045 | 58,82 | 218 | 73,65 | 255 | 86,15 | 462 | 156,08 | 104 | 35,14 | 6 | 2,03 | 0 | 0,00 |
| 13 | Secano/Regadio | 5.038 | 283,59 | 1.174 | 396,62 | 1430 | 483,11 | 1854 | 626,35 | 245 | 82,77 | 335 | 113,18 | 0 | 0,00 |
| 27 | Forestal A Regadio | 692 | 38,95 | 25 | 8,45 | 282 | 95,27 | 4 | 1,35 | 25 | 8,45 | 356 | 120,27 | 0 | 0,00 |
| 34 | VNatural A Regadio | 3.613 | 203,38 | 444 | 150,00 | 116 | 39,19 | 2711 | 915,88 | 45 | 15,20 | 297 | 100,34 | 0 | 0,00 |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | 1,07 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 19 | 6,42 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | 14,19 | 0 | 0,00 | 69 | 23,31 | 183 | 61,82 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| TOTAL | | 10.659 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A REGADIO | | 1776,50 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A REGADIO EN CARRETERAS | | | | 296 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A FORESTAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 3CC | N2 Pixels | N2 3CC | N3 Pixels | N3 3CC | N4 Pixels | N4 3CC | N5 Pixels | N5 3CC | N6 Pixels | N6 3CC |
| 5 | Urbano A Forestal | 3.614 | 36,51 | 1.056 | 64,00 | 40 | 2,42 | 96 | 5,82 | 117 | 7,09 | 616 | 37,33 | 1689 | 102,36 |
| 12 | Secano /Forestal | 8.238 | 83,21 | 4.860 | 294,55 | 161 | 9,76 | 272 | 16,48 | 146 | 8,85 | 554 | 33,58 | 2245 | 136,06 |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 4,59 | 83 | 5,03 | 142 | 8,61 | 211 | 12,79 | 18 | 1,09 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46.094 | 465,60 | 31.729 | 1922,97 | 6 | 0,36 | 975 | 59,09 | 104 | 6,30 | 585 | 35,45 | 12695 | 769,39 |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | 7,46 | 735 | 44,55 | 0 | 0,00 | 4 | 0,24 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | 2,63 | 90 | 5,45 | 0 | 0,00 | 65 | 3,94 | 0 | 0,00 | 51 | 3,09 | 54 | 3,27 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL | | 59.399 | | | | | | | | | | | | | |

| CAMBIO MEDIO A FORESTAL | | 9899,83 | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| CAMBIO MEDIO A FORESTAL EN CARRETERAS | | | | 1.650 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A VEGETACION NATURAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 3CC | N2 Pixels | N2 3CC | N3 Pixels | N3 3CC | N4 Pixels | N4 3CC | N5 Pixels | N5 3CC | N6 Pixels | N6 3CC |
| 3 | Urbano A VNatural | 10.413 | 89,32 | 3.569 | 183,69 | 155 | 7,98 | 406 | 20,90 | 309 | 15,90 | 1544 | 79,46 | 4430 | 228,00 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45.735 | 392,31 | 27.633 | 1422,18 | 384 | 19,76 | 8674 | 446,42 | 615 | 31,65 | 861 | 44,31 | 7568 | 389,50 |
| 17 | RegadioA VNatural | 3.099 | 26,58 | 722 | 37,16 | 251 | 12,92 | 2020 | 103,96 | 64 | 3,29 | 42 | 2,16 | 0 | 0,00 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7.713 | 66,16 | 2.485 | 127,90 | 13 | 0,67 | 203 | 10,45 | 113 | 5,82 | 1619 | 83,32 | 3280 | 168,81 |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2.485 | 21,32 | 1.173 | 60,37 | 0 | 0,00 | 1312 | 67,52 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | 4,31 | 126 | 6,48 | 3 | 0,15 | 135 | 6,95 | 0 | 0,00 | 159 | 8,18 | 80 | 4,12 |
| TOTAL | | 69.948 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A VEGETACION NATURAL | | 11658,00 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A VEGETACION NATURAL EN CARRETERAS | | | | | | 1943 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A ESPACIOS ABIERTOS | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 3CC | N2 Pixels | N2 3CC | N3 Pixels | N3 3CC | N4 Pixels | N4 3CC | N5 Pixels | N5 3CC | N6 Pixels | N6 3CC |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 41,52 | 71 | 22,88 | 114 | 36,74 | 426 | 137,30 | 76 | 24,49 | 68 | 21,92 | 18 | 5,80 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6.921 | 371,76 | 485 | 156,31 | 142 | 45,77 | 3147 | 1014,25 | 1610 | 518,89 | 1144 | 368,70 | 393 | 126,66 |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 8,70 | 2 | 0,64 | 49 | 15,79 | 110 | 35,45 | 0 | 0,00 | 1 | 0,32 | 0 | 0,00 |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 5,16 | 50 | 16,11 | 1 | 0,32 | 17 | 5,48 | 0 | 0,00 | 10 | 3,22 | 18 | 5,80 |
| 32 | VNatural A EA. | 3.207 | 172,26 | 1.944 | 626,53 | 100 | 32,23 | 763 | 245,91 | 213 | 68,65 | 80 | 25,78 | 107 | 34,48 |
| 46 | Agua A EA | 11 | 0,59 | 0 | 0,00 | 3 | 0,97 | 8 | 2,58 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| TOTAL | | 11.170 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A EABIERTOS | | 1861,67 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A EABIERTOS EN CARRETERAS | | | | 310,28 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| A AGUA | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nº Clase | Nombre Clase | Carreteras Pixels | Carreteras % | N1 Pixels | N1 3CC | N2 Pixels | N2 3CC | N3 Pixels | N3 3CC | N4 Pixels | N4 3CC | N5 Pixels | N5 3CC | N6 Pixels | N6 3CC |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 222,76 | 60 | 378,31 | 0 | 0,00 | 102 | 643,13 | 0 | 0,00 | 50 | 315,26 | 0 | 0,00 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 61,99 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 59 | 372,01 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 95,62 | 89 | 561,16 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 2 | 12,61 | 0 | 0,00 |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | 219,61 | 42 | 264,82 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 167 | 1052,96 |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0,00 |
| TOTAL | | 571 | 0,19 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A AGUA | | 95,17 | | | | | | | | | | | | | |
| CAMBIO MEDIO A AGUA EN CARRETERAS | | | | 15,8611 | | | | | | | | | | | |

Anexo 11: Cambios por coronas

| Nº Clase | Nombre Clase | Total | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|----------|----------------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | Urbano | 163093 | 8624 | 26910 | 26149 | 20130 | 14811 | 13074 | 10895 | 11028 | 8226 | 5082 | 3276 | 8 |
| 2 | Urbano A Secano | 13416 | 0 | 45 | 331 | 1183 | 1120 | 1441 | 2349 | 1172 | 1244 | 2176 | 830 | 9 |
| 3 | Urbano A VNatural | 10413 | 0 | 626 | 553 | 596 | 761 | 548 | 208 | 513 | 1205 | 745 | 407 | 2 |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 0 | 3 | 8 | 22 | 12 | 22 | 11 | 19 | 33 | 445 | 81 | |
| 5 | Urbano A Forestal | 3614 | 0 | 383 | 194 | 227 | 276 | 182 | 99 | 143 | 341 | 178 | 229 | |
| 6 | Urbano A Regadio | 1045 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 | 119 | 263 | 218 | 54 | 2 | 21 | 1 |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Secano/Urbano | 45384 | 0 | 1205 | 2731 | 5809 | 4793 | 7361 | 4756 | 4176 | 2997 | 4173 | 2875 | 2 |
| 9 | Secano | 134685 | 0 | 25 | 4800 | 9930 | 8055 | 9628 | 13733 | 10448 | 9274 | 18073 | 16068 | 63 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45735 | 0 | 3 | 44 | 649 | 3490 | 799 | 2159 | 1227 | 1255 | 3404 | 3844 | 59 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6921 | 0 | 0 | 189 | 117 | 242 | 141 | 455 | 427 | 400 | 1454 | 455 | 4 |
| 12 | Secano /Forestal | 8238 | 0 | 1 | 8 | 67 | 170 | 221 | 187 | 249 | 579 | 193 | 417 | 2 |
| 13 | Secano/Regadio | 5038 | 0 | 0 | 0 | 85 | 500 | 58 | 687 | 698 | 509 | 408 | 227 | 3 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | Regadio/Urbano | 3069 | 127 | 698 | 0 | 0 | 297 | 529 | 49 | 415 | 469 | 263 | 0 | 1 |
| 16 | Regadio A Secano | 8585 | 0 | 0 | 0 | 0 | 974 | 990 | 823 | 296 | 405 | 37 | 0 | 34 |
| 17 | RegadioA VNatural | 3099 | 0 | 0 | 0 | 0 | 251 | 1347 | 21 | 66 | 103 | 616 | 0 | 3 |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65 | 2 | 12 | 0 | 2 | 0 | |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29 | 146 | 54 | 7 | 48 | 29 | 0 | |
| 20 | Regadio | 7150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 282 | 397 | 1163 | 267 | 630 | 0 | 20 | 22 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22 | Forestal /Urbano | 4699 | 0 | 932 | 1007 | 718 | 562 | 9 | 0 | 123 | 377 | 0 | 375 | |
| 23 | Forestal A Secano | 1820 | 0 | 14 | 2 | 422 | 79 | 0 | 69 | 81 | 789 | 157 | 0 | 1 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7713 | 0 | 526 | 657 | 193 | 1037 | 53 | 202 | 240 | 531 | 59 | 352 | |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 0 | 5 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8 | 18 | 0 | 0 | |
| 26 | Forestal | 12371 | 0 | 320 | 804 | 616 | 1343 | 16 | 180 | 197 | 943 | 22 | 254 | |
| 27 | Forestal A Regadio | 692 | 0 | 4 | 0 | 25 | 78 | 4 | 0 | 25 | 269 | 83 | 0 | 2 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|------------|
| 29 | V Natural/Urbano | 42328 | 732 | 1872 | 4792 | 4642 | 4232 | 780 | 1998 | 5804 | 4949 | 2686 | 1936 | 11 |
| 30 | VNatural A Secano | 29488 | | 11 | 653 | 3365 | 1250 | 444 | 2821 | 3905 | 5978 | 1490 | 3738 | 11 |
| 31 | V Natural | 104629 | | 726 | 438 | 1005 | 1840 | 2275 | 1057 | 2429 | 3176 | 1514 | 3004 | 80 |
| 32 | VNatural A EA. | 3207 | | 6 | 3 | 57 | 41 | 34 | 74 | 67 | 207 | 195 | 120 | 1 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46094 | | 410 | 40 | 64 | 730 | 919 | 235 | 424 | 465 | 650 | 869 | 14 |
| 34 | VNatural A Regadio | 3613 | | 0 | | 61 | 29 | 993 | 134 | 297 | 629 | 23 | 385 | 8 |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | | 0 | | | 0 | 54 | 0 | | | | 0 | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | | 0 | | | 0 | 37 | 0 | | | | 0 | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2485 | | 0 | | | 0 | 88 | 0 | | | | 0 | |
| 39 | EAbiertos | 33 | | 0 | | | 0 | 18 | 0 | | | | 0 | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | 0 | | | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | | 12 | | | 214 | 21 | 22 | | | | 90 | |
| 44 | Agua A Secano | 164 | | 2 | | | 9 | 30 | 123 | | | | 0 | |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | | 159 | | | 3 | 75 | 60 | | | | 75 | |
| 46 | Agua A EA | 11 | | 0 | | | 3 | 7 | 1 | | | | 0 | |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | | 51 | | | 0 | 43 | 22 | | | | 17 | |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | | | | | 69 | 119 | 64 | | | | | |
| 49 | Agua | 416 | | | | | | 99 | 133 | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 723748 | 9483 | 35001 | 43403 | 49987 | 47732 | 43239 | 45217 | 44981 | 46103 | 44159 | 39965 | 354 |
| Total cambios | | 301371 | 859 | 7020 | 11212 | 18306 | 21401 | 17732 | 18056 | 20612 | 23854 | 19468 | 17343 | 178 |
| Cambio Medio y “CCC” | | 10392 | 8,27 | 67,55 | 107,9 | 176,2 | 205,9 | 170,6 | 173,75 | 198,3 | 229,54 | 187,34 | 166,9 | 171 |
| % Cambio | | 99,99 | 0,29 | 2,33 | 3,72 | 6,07 | 7,10 | 5,88 | 5,99 | 6,84 | 7,92 | 6,46 | 5,75 | 5, |

| Nº Clase | Nombre Clase | Total | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 | C22 | C23 | C24 | C25 | C26 | C27 | C28 |
|----------|-------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | Urbano | 163093 | 0 | 615 | 489 | 473 | 0 | 721 | 11 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Urbano A Secano | 13416 | 0 | 3 | 21 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Urbano A VNatural | 10413 | 30 | 147 | 137 | 261 | 0 | 221 | 19 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4 | Urbano A EA | 773 | 0 | 1 | 0 | 34 | 0 | 14 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Urbano A Forestal | 3614 | 127 | 141 | 27 | 143 | 0 | 202 | 29 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Urbano A Regadio | 1045 | 0 | 0 | 58 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Secano/Urbano | 45384 | 3 | 223 | 545 | 378 | 0 | 0 | 0 | 74 | 0 | 10 | 37 | 0 |
| 9 | Secano | 134685 | 1901 | 982 | 1306 | 5349 | 5386 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45735 | 903 | 1126 | 592 | 1109 | 6 | 0 | 23 | 692 | 413 | 412 | 168 | 0 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6921 | 325 | 74 | 439 | 226 | 220 | 0 | 0 | 27 | 45 | 86 | 37 | 0 |
| 12 | Secano /Forestal | 8238 | 101 | 390 | 117 | 687 | 9 | 0 | 12 | 535 | 775 | 821 | 113 | 0 |
| 13 | Secano/Regadio | 5038 | 0 | 0 | 703 | 331 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 3069 | 0 | 0 | 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Regadio A Secano | 8585 | 20 | 0 | 187 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | RegadioA VNatural | 3099 | 176 | 0 | 136 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 7 | 0 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 0 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Regadio | 7150 | 0 | 0 | 1545 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 4699 | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | Forestal A Secano | 1820 | 2 | 0 | 0 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7713 | 309 | 130 | 48 | 307 | 0 | 464 | 66 | 0 | 0 | 150 | 386 | 383 |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 4 | 1 |
| 26 | Forestal | 12371 | 1807 | 253 | 23 | 251 | 0 | 494 | 123 | 0 | 0 | 842 | 1322 | 1482 |
| 27 | Forestal A Regadio | 692 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 42328 | 430 | 871 | 15 | 252 | 64 | 680 | 241 | 62 | 0 | 0 | 0 | 137 |
| 30 | VNatural A Secano | 29488 | 1072 | 758 | 61 | 308 | 310 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | V Natural | 104629 | 11156 | 7081 | 4041 | 4111 | 4060 | 2212 | 4310 | 2882 | 1561 | 769 | 2041 | 1861 |
| 32 | VNatural A EA. | 3207 | 190 | 54 | 2 | 83 | 25 | 25 | 115 | 128 | 168 | 305 | 500 | 422 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46094 | 5750 | 2212 | 1892 | 1335 | 3435 | 1439 | 2292 | 2674 | 4306 | 3717 | 2852 | 2693 |
| 34 | VNatural A Regadio | 3613 | | 0 | 0 | 24 | | 0 | 0 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 35 | VNatural A Agua | 209 | | 0 | 0 | | | 42 | 0 | | | | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | | 43 | 13 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | | 82 | 45 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2485 | | 482 | 1915 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 39 | EAbiertos | 33 | | 13 | 2 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | | 62 | 677 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | | | 19 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | | | | | | 23 | 15 | | | | | |
| 44 | Agua A Secano | 164 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | | | | | | 93 | 33 | | | | | |
| 46 | Agua A EA | 11 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | | | | | | 75 | 15 | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | | | | | | 0 | | | | | | |
| 49 | Agua | 416 | | | | | | 168 | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 723748 | 24309 | 15743 | 15188 | 15825 | 13515 | 7030 | 7304 | 7158 | 7268 | 7136 | 7460 | 6979 |
| Total cambios | | 301371 | 9445 | 6799 | 7782 | 5641 | 4069 | 3435 | 2860 | 4269 | 5707 | 5525 | 4097 | 3636 |
| Cambio Medio y “CCC” | | 99,99 | 3,13 | 2,26 | 2,58 | 1,87 | 1,35 | 1,14 | 0,95 | 1,42 | 1,89 | 1,83 | 1,36 | 1,21 |
| % de Cambio | | 723748 | 24309 | 15743 | 15188 | 15825 | 13515 | 7030 | 7304 | 7158 | 7268 | 7136 | 7460 | 6979 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 12: Evolución de usos del suelo por coronas en la carretera de Burgos

| Nº Clase | Nombre Clase | Burgos | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|----------|-------------------|--------|----|----|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | Urbano | 26255 | | | 3005 | 4927 | 4239 | 4384 | 637 | 1670 | 2933 | 513 | 380 | |
| 2 | Urbano A Secano | 1839 | | | | 485 | 294 | 0 | 540 | 275 | 13 | 183 | 7 | |
| 3 | Urbano A VNatural | 3569 | | | | 74 | 54 | 0 | 8 | 300 | 520 | 442 | 37 | |
| 4 | Urbano A EA | 71 | | | | 0 | 1 | 0 | 2 | 9 | 0 | 1 | 5 | |
| 5 | Urbano A Forestal | 1056 | | | | 7 | 4 | 0 | 4 | 107 | 49 | 89 | 0 | |
| 6 | Urbano A Regadio | 218 | | | | 0 | 0 | 0 | 8 | 160 | 50 | 0 | 0 | |
| 7 | Urbano A Agua | 60 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Secano/Urbano | 9799 | | | | 1155 | 831 | 2707 | 875 | 405 | 334 | 639 | 1297 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|-------|--|--|--|------|------|-----|------|------|------|------|------|----|
| 9 | Secano | 14077 | | | | 2735 | 1782 | 189 | 3438 | 1503 | 25 | 1771 | 1859 | 4 |
| 10 | Secano/V. Natural | 27633 | | | | 252 | 392 | 3 | 186 | 250 | 336 | 3242 | 3417 | 52 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 485 | | | | 7 | 73 | 1 | 32 | 31 | 7 | 22 | 37 | 1 |
| 12 | Secano /Forestal | 4860 | | | | 28 | 49 | 4 | 53 | 127 | 50 | 116 | 355 | 1 |
| 13 | Secano/Regadio | 1174 | | | | 0 | 0 | 0 | 510 | 335 | 329 | 0 | 0 | |
| 14 | Secano Agua | 0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | Regadio/Urbano | 517 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 254 | 263 | 0 | |
| 16 | Regadio A Secano | 454 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | 394 | 37 | 0 | |
| 17 | RegadioA VNatural | 722 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 103 | 616 | 0 | |
| 18 | Regadio A EA | 2 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | |
| 19 | Regadio A Forestal | 83 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 48 | 29 | 0 | |
| 20 | Regadio | 746 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 117 | 629 | 0 | 0 | |
| 21 | Regadio A Agua | 0 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22 | Forestal /Urbano | 137 | | | | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 23 | Forestal A Secano | 111 | | | | 0 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 24 | Forestal A V Natural | 2485 | | | | 0 | 113 | 0 | 0 | 146 | 0 | 0 | 0 | |
| 25 | Forestal A EA | 50 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 26 | Forestal | 4876 | | | | 0 | 87 | 0 | 0 | 85 | 0 | 0 | 0 | |
| 27 | Forestal A Regadio | 25 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 0 | 0 | 0 | |
| 28 | Forestal A Agua | 89 | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 29 | V Natural/Urbano | 7793 | | | | 1079 | 1977 | 536 | 36 | 405 | 659 | 2 | 30 | |
| 30 | VNatural A Secano | 4587 | | | | 1097 | 1013 | | 882 | 502 | 50 | 450 | 15 | 1 |
| 31 | V Natural | 54461 | | | | 281 | 377 | | 45 | 346 | 1321 | 193 | 583 | 13 |
| 32 | VNatural A EA. | 1944 | | | | 1 | 22 | | 15 | 18 | 6 | 6 | 0 | |
| 33 | V Natural A Forestal | 31729 | | | | 13 | 135 | | 5 | 171 | 113 | 25 | 53 | |
| 34 | VNatural A Regadio | 444 | | | | | | | 43 | 106 | 295 | | | |
| 35 | VNatural A Agua | 42 | | | | | | | | | | | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 47 | | | | | | | | | | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 18 | | | | | | | | | | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 1173 | | | | | | | | | | | | |
| 39 | EAbiertos | 0 | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|---------------|----------|----------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 40 | EAbiertos A Forestal | 735 | | | | | | | | | | | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | 38 | | | | | | | | | | | | |
| 44 | Agua A Secano | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | 126 | | | | | | | | | | | | |
| 46 | Agua A EA | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | 90 | | | | | | | | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 49 | Agua | 168 | | | | | | | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 204788 | 0 | 0 | 3005 | 12141 | 11505 | 7824 | 7319 | 7125 | 8518 | 8641 | 8075 | 75 |
| Total cambios | | 104205 | 0 | 0 | 0 | 4198 | 5020 | 3251 | 3199 | 3404 | 3610 | 6164 | 5253 | 56 |

| Nº Clase | Nombre Clase | Burgos | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 | C22 | C23 | C24 | C25 | C26 | C27 | C28 |
|----------|-------------------|--------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | Urbano | 163093 | 0 | 615 | 0 | 276 | 0 | 721 | 11 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Urbano A Secano | 13416 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | Urbano A VNatural | 10413 | 4 | 147 | 4 | 210 | 0 | 221 | 19 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 0 | 1 | 0 | 31 | 0 | 14 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Urbano A Forestal | 3614 | 0 | 141 | 26 | 131 | 0 | 202 | 29 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Urbano A Regadio | 1045 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Secano/Urbano | 45384 | 3 | 223 | 0 | 218 | 0 | 0 | 0 | 74 | 0 | 10 | 37 | 0 |
| 9 | Secano | 134685 | 1 | 11 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Secano/V. Natural | 45735 | 413 | 286 | 229 | 1065 | 0 | 0 | 23 | 692 | 413 | 412 | 168 | 0 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6921 | 2 | 1 | 3 | 14 | 0 | 0 | 0 | 27 | 45 | 86 | 37 | 0 |
| 12 | Secano /Forestal | 8238 | 94 | 384 | 112 | 661 | 0 | 0 | 12 | 535 | 775 | 821 | 113 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 13 | Secano/Regadio | 5038 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 3069 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Regadio A Secano | 8585 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | RegadioA VNatural | 3099 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Regadio | 7150 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 4699 | 0 | 0 | 0 | 26 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | Forestal A Secano | 1820 | 0 | 0 | 0 | 49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | Forestal A V Natural | 7713 | 0 | 0 | 48 | 307 | 0 | 464 | 66 | 0 | 0 | 150 | 386 | 383 |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 0 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 4 | 1 |
| 26 | Forestal | 12371 | 0 | 0 | 23 | 251 | 0 | 494 | 123 | 0 | 0 | 842 | 1322 | 1482 |
| 27 | Forestal A Regadio | 692 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 89 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 42328 | 189 | 861 | 15 | 244 | 64 | 680 | 241 | 62 | 0 | 0 | 0 | 137 |
| 30 | VNatural A Secano | 29488 | 29 | 90 | 44 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31 | V Natural | 104629 | 5238 | 2957 | 3747 | 3801 | 4057 | 2212 | 4310 | 2882 | 1561 | 769 | 2041 | 1861 |
| 32 | VNatural A EA. | 3207 | 1 | 17 | 2 | 74 | 24 | 25 | 115 | 128 | 168 | 305 | 500 | 422 |
| 33 | V Natural A Forestal | 46094 | 1305 | 1817 | 1881 | 1276 | 3431 | 1439 | 2292 | 2674 | 4306 | 3717 | 2852 | 2693 |
| 34 | VNatural A Regadio | 3613 | | 0 | 0 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | | 0 | 0 | | | 42 | 0 | | | | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | | 43 | 4 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | | 0 | 18 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2485 | | 80 | 1093 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 39 | EAbiertos | 33 | | 0 | 0 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | | 62 | 673 | | | 0 | 0 | | | | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | | | | | | 23 | 15 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 44 | Agua A Secano | 164 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | | | | | | 93 | 33 | | | | | |
| 46 | Agua A EA | 11 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | | | | | | 75 | 15 | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | | | | | | 0 | | | | | | |
| 49 | Agua | 416 | | | | | | 168 | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 723748 | 7279 | 7739 | 7928 | 8693 | 7576 | 7030 | 7304 | 7158 | 7268 | 7136 | 7460 | 6979 |
| Total cambios | | 301371 | 2040 | 4156 | 4152 | 4361 | 3519 | 3435 | 2860 | 4269 | 5707 | 5525 | 4097 | 3636 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 13: Evolución de usos del suelo por coronas en la carretera de Barcelona

| Nº Clase | Nombre Clase | Barcelona | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|----------|--------------------|-----------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | Urbano | 31629 | | 4028 | 7165 | 4483 | 4641 | 2642 | 5146 | 1056 | 975 | 988 | 491 | |
| 2 | Urbano A Secano | 4478 | | 0 | 0 | 0 | 21 | 765 | 442 | 124 | 1030 | 572 | 819 | 6 |
| 3 | Urbano A VNatural | 155 | | 0 | 0 | 0 | 2 | 72 | 0 | 7 | 21 | 2 | 42 | |
| 4 | Urbano A EA | 114 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 1 | 76 | |
| 5 | Urbano A Forestal | 40 | | 0 | 0 | 0 | 6 | 6 | 0 | 5 | 13 | 1 | 3 | |
| 6 | Urbano A Regadio | 255 | | 0 | 0 | 0 | 60 | 108 | 2 | 0 | 0 | 0 | 21 | |
| 7 | Urbano A Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Secano/Urbano | 10712 | | 0 | 89 | 3499 | 729 | 365 | 427 | 1205 | 1608 | 2283 | 507 | |
| 9 | Secano | 15491 | | 0 | 0 | 0 | 360 | 2528 | 690 | 3743 | 1118 | 2337 | 3353 | 11 |
| 10 | Secano/V. Natural | 384 | | 0 | 0 | 0 | 66 | 112 | 0 | 191 | 0 | 7 | 8 | |
| 11 | Secano/E Abiertos | 142 | | 0 | 0 | 0 | 32 | 3 | 0 | 7 | 2 | 10 | 48 | |
| 12 | Secano /Forestal | 161 | | 0 | 0 | 0 | 27 | 30 | 0 | 89 | 1 | 8 | 6 | |
| 13 | Secano/Regadio | 1430 | | 0 | 0 | 0 | 299 | 58 | 83 | 253 | 0 | 277 | 123 | |
| 14 | Secano Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | Regadio/Urbano | 574 | | 0 | 0 | 0 | 43 | 3 | 0 | 313 | 215 | 0 | 0 | |
| 16 | Regadio A Secano | 5662 | | 0 | 0 | 0 | 343 | 248 | 0 | 227 | 0 | 0 | 0 | 34 |
| 17 | RegadioA VNatural | 251 | | 0 | 0 | 0 | 90 | 34 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |
| 18 | Regadio A EA | 49 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | |
| 19 | Regadio A Forestal | 142 | | 0 | 0 | 0 | 10 | 15 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 20 | Regadio | 2091 | | 0 | 0 | 0 | 52 | 140 | 0 | 150 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22 | Forestal /Urbano | 429 | | 0 | 0 | 242 | 187 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 23 | Forestal A Secano | 170 | | 0 | 0 | | 27 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 24 | Forestal A V Natural | 13 | | 0 | 0 | | 9 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 25 | Forestal A EA | 1 | | 0 | 0 | | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 26 | Forestal | 38 | | 0 | 0 | | 11 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 27 | Forestal A Regadio | 282 | | 0 | 0 | | 78 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 28 | Forestal A Agua | 0 | | 0 | 0 | | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 29 | V Natural/Urbano | 4871 | | 42 | 2187 | | 0 | | 540 | 33 | 1845 | 83 | 141 | |
| 30 | VNatural A Secano | 3350 | | | | | 0 | | | | 907 | 537 | 1905 | |
| 31 | V Natural | 24 | | | | | 0 | | | | 9 | 0 | 11 | |
| 32 | VNatural A EA. | 100 | | | | | 0 | | | | 20 | 0 | 80 | |
| 33 | V Natural A Forestal | 6 | | | | | 0 | | | | 1 | 0 | 2 | |
| 34 | VNatural A Regadio | 116 | | | | | 0 | | | | | 23 | 65 | |
| 35 | VNatural A Agua | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 39 | EAbiertos | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | 214 | | | | | 214 | | | | | | | |
| 44 | Agua A Secano | 9 | | | | | 9 | | | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | 3 | | | | | 3 | | | | | | | |
| 46 | Agua A EA | 3 | | | | | 3 | | | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | 0 | | | | | 0 | | | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | 69 | | | | | 69 | | | | | | | |
| 49 | Agua | | | | | | | | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 83458 | 0 | 4070 | 9441 | 8224 | 7391 | 7130 | 7330 | 7417 | 7773 | 7129 | 7701 | 72 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|---|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| Total cambios | 34185 | 0 | 42 | 2276 | 3741 | 2327 | 1820 | 1494 | 2468 | 5671 | 3804 | 3846 | 48 |
|---------------|-------|---|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 14: Evolución de usos del suelo por coronas en la carretera de Valencia

| Nº Clase | Nombre Clase | Valencia | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|----------|----------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | Urbano | 20818 | 4703 | 5790 | 1765 | 0 | 1029 | 483 | 1397 | 2376 | 190 | 789 | 8 | 2 |
| 2 | Urbano A Secano | 2618 | 0 | 43 | 248 | 40 | 0 | 43 | 304 | 404 | 81 | 1002 | 3 | |
| 3 | Urbano A VNatural | 406 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 112 | 56 | 10 | 5 | 6 | 0 | |
| 4 | Urbano A EA | 426 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 4 | 4 | 392 | 0 | |
| 5 | Urbano A Forestal | 96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 58 | 2 | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | Urbano A Regadio | 462 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 253 | 44 | 0 | 0 | 0 | |
| 7 | Urbano A Agua | 102 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Secano/Urbano | 8346 | 0 | 1205 | 1444 | 283 | 457 | 758 | 577 | 1745 | 277 | 159 | 12 | |
| 9 | Secano | 49902 | 0 | 25 | 3486 | 4511 | 357 | 297 | 823 | 1517 | 2978 | 4284 | 3749 | 2 |
| 10 | Secano/V. Natural | 8674 | 0 | 3 | 41 | 84 | 2908 | 207 | 16 | 54 | 260 | 15 | 411 | 6 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 3147 | 0 | 0 | 182 | 79 | 16 | 6 | 0 | 11 | 130 | 325 | 114 | |
| 12 | Secano /Forestal | 272 | 0 | 1 | 0 | 3 | 35 | 0 | 26 | 4 | 29 | 0 | 53 | |
| 13 | Secano/Regadio | 1854 | 0 | 0 | 0 | 60 | 80 | 0 | 26 | 75 | 10 | 0 | 74 | 3 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | Regadio/Urbano | 733 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 315 | 49 | 102 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 16 | Regadio A Secano | 1694 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 | 557 | 823 | 44 | 11 | 0 | 0 | |
| 17 | RegadioA VNatural | 2020 | 0 | 0 | 0 | 0 | 159 | 1271 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 18 | Regadio A EA | 110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19 | Regadio A Forestal | 211 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 131 | 54 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20 | Regadio | 4262 | 0 | 0 | 0 | 0 | 179 | 257 | 1163 | 0 | 1 | 0 | 20 | 10 |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22 | Forestal /Urbano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 23 | Forestal A Secano | 455 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 454 | 1 | 0 | |
| 24 | Forestal A V Natural | 203 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41 | 0 | 0 | 162 | 0 | 0 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 25 | Forestal A EA | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | |
| 26 | Forestal | 199 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 187 | 0 | 0 | |
| 27 | Forestal A Regadio | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 28 | Forestal A Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 29 | V Natural/Urbano | 4515 | 30 | 363 | 140 | 776 | 1450 | 95 | 391 | 193 | 145 | 0 | 0 | 4 |
| 30 | VNatural A Secano | 12715 | | | 442 | 1004 | 102 | 444 | 476 | 743 | 2635 | 228 | 1655 | 9 |
| 31 | V Natural | 20189 | | | 6 | 136 | 673 | 285 | 61 | 71 | 210 | 4 | 503 | 22 |
| 32 | VNatural A EA. | 763 | | | | 36 | 9 | 22 | 19 | 27 | 91 | 122 | 16 | |
| 33 | V Natural A Forestal | 975 | | | | 9 | 21 | 184 | 36 | 14 | 20 | | 115 | 2 |
| 34 | VNatural A Regadio | 2711 | | | | 61 | 29 | 993 | 91 | 144 | 39 | | 320 | 8 |
| 35 | VNatural A Agua | 0 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 63 | | | | | | 54 | 0 | | | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 146 | | | | | | 37 | 0 | | | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 1312 | | | | | | 88 | 0 | | | | | |
| 39 | EAbiertos | 33 | | | | | | 18 | 0 | | | | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 4 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | | | | | 0 | 0 | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | 43 | | | | | | 21 | 22 | | | | | |
| 44 | Agua A Secano | 153 | | | | | | 30 | 123 | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | 135 | | | | | | 75 | 60 | | | | | |
| 46 | Agua A EA | 8 | | | | | | 7 | 1 | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | 65 | | | | | | 43 | 22 | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | 183 | | | | | | 119 | 64 | | | | | |
| 49 | Agua | 232 | | | | | | 99 | 133 | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 151354 | 4733 | 7430 | 7757 | 7084 | 7593 | 7259 | 7255 | 7584 | 7936 | 7327 | 7053 | 78 |
| Total cambios | | 55719 | 30 | 1615 | 2500 | 2437 | 5355 | 5808 | 3678 | 3620 | 4370 | 2250 | 2773 | 40 |

| Nº Clase | Nombre Clase | Valencia | C17 | C18 | C19 | C20 | C21 | C22 |
|----------|----------------------|----------|------|-----|------|------|------|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | Urbano | 163093 | 0 | 0 | 489 | 197 | 0 | |
| 2 | Urbano A Secano | 13416 | 0 | 0 | 21 | 12 | 0 | |
| 3 | Urbano A VNatural | 10413 | 0 | 0 | 133 | 51 | 0 | |
| 4 | Urbano A EA | 773 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | |
| 5 | Urbano A Forestal | 3614 | 0 | 0 | 1 | 12 | 0 | |
| 6 | Urbano A Regadio | 1045 | 0 | 0 | 58 | 50 | 0 | |
| 7 | Urbano A Agua | 212 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Secano/Urbano | 45384 | 0 | 0 | 545 | 160 | 0 | |
| 9 | Secano | 134685 | 1900 | 971 | 1300 | 5345 | 5386 | |
| 10 | Secano/V. Natural | 45735 | 490 | 840 | 363 | 44 | 6 | |
| 11 | Secano/E Abiertos | 6921 | 323 | 73 | 436 | 212 | 220 | |
| 12 | Secano /Forestal | 8238 | 7 | 6 | 5 | 26 | 9 | |
| 13 | Secano/Regadio | 5038 | 0 | 0 | 703 | 331 | 0 | |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | Regadio/Urbano | 3069 | 0 | 0 | 74 | 0 | 0 | |
| 16 | Regadio A Secano | 8585 | 20 | 0 | 187 | 0 | 0 | |
| 17 | RegadioA VNatural | 3099 | 176 | 0 | 136 | 0 | 0 | |
| 18 | Regadio A EA | 162 | 7 | 0 | 36 | 0 | 0 | |
| 19 | Regadio A Forestal | 454 | 0 | 0 | 23 | 0 | 0 | |
| 20 | Regadio | 7150 | 0 | 0 | 1545 | 0 | 0 | |
| 21 | Regadio A Agua | 59 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22 | Forestal /Urbano | 4699 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 23 | Forestal A Secano | 1820 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 24 | Forestal A V Natural | 7713 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 25 | Forestal A EA | 96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 26 | Forestal | 12371 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 27 | Forestal A Regadio | 692 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 28 | Forestal A Agua | 91 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| 29 | V Natural/Urbano | 42328 | 125 | 0 | 0 | 8 | 0 | |
| 30 | VNatural A Secano | 29488 | 970 | 668 | 17 | 279 | 310 | |
| 31 | V Natural | 104629 | 3068 | 4002 | 294 | 310 | 3 | |
| 32 | VNatural A EA. | 3207 | 163 | 27 | 0 | 9 | 1 | |
| 33 | V Natural A Forestal | 46094 | 106 | 57 | 11 | 59 | 4 | |
| 34 | VNatural A Regadio | 3613 | | 0 | 0 | 24 | | |
| 35 | VNatural A Agua | 209 | | 0 | 0 | | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 110 | | 0 | 9 | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 164 | | 82 | 27 | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 2485 | | 402 | 822 | | | |
| 39 | EAbiertos | 33 | | 13 | 2 | | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 739 | | | 4 | | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 19 | | | 19 | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | 397 | | | | | | |
| 44 | Agua A Secano | 164 | | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | 503 | | | | | | |
| 46 | Agua A EA | 11 | | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | 260 | | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | 252 | | | | | | |
| 49 | Agua | 416 | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 723748 | 7355 | 7141 | 7260 | 7132 | 5939 | 0 |
| Total cambios | | 301371 | 2387 | 2155 | 3630 | 1280 | 550 | 0 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 15: Evolución de usos del suelo por coronas en la carretera de Andalucía

| Nº Clase | Nombre Clase | Andalucía | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|----------|-------------------|-----------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | Urbano | 22068 | 2965 | 5333 | 3394 | 2452 | 767 | 2110 | 852 | 3496 | 588 | 111 | 0 | |
| 2 | Urbano A Secano | 2077 | 0 | 0 | 73 | 148 | 480 | 321 | 466 | 212 | 111 | 266 | 0 | |
| 3 | Urbano A VNatural | 309 | 0 | 0 | 6 | 30 | 78 | 11 | 29 | 138 | 7 | 10 | 0 | |
| 4 | Urbano A EA | 76 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 | 7 | 6 | 21 | 37 | 0 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 5 | Urbano A Forestal | 117 | 0 | 0 | 3 | 81 | 10 | 5 | 5 | 13 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | Urbano A Regadio | 104 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Urbano A Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Secano/Urbano | 6212 | 0 | 0 | 1198 | 515 | 1458 | 1223 | 1108 | 428 | 215 | 56 | 11 |
| 9 | Secano | 22781 | 0 | 0 | 1314 | 1892 | 2969 | 3036 | 3534 | 1426 | 2403 | 4800 | 1407 |
| 10 | Secano/V. Natural | 615 | 0 | 0 | 3 | 11 | 58 | 78 | 70 | 231 | 103 | 57 | 4 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 1610 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 25 | 141 | 11 | 225 | 984 | 217 |
| 12 | Secano /Forestal | 146 | 0 | 0 | 8 | 12 | 38 | 37 | 1 | 7 | 41 | 0 | 2 |
| 13 | Secano/Regadio | 245 | 0 | 0 | 0 | 25 | 121 | 0 | 0 | 35 | 34 | 0 | 30 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 1103 | 127 | 698 | 0 | 0 | 209 | 69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Regadio A Secano | 590 | 0 | 0 | 0 | 0 | 588 | | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | RegadioA VNatural | 64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | | 0 | 62 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | Regadio A EA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | Regadio A Forestal | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Regadio | 51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 51 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 471 | 0 | 0 | 0 | 387 | | | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 |
| 23 | Forestal A Secano | 149 | 0 | 0 | 0 | 149 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | Forestal A V Natural | 113 | 0 | 0 | 0 | 113 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | Forestal A EA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | Forestal | 561 | 0 | 0 | 0 | 561 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | Forestal A Regadio | 25 | 0 | 0 | 0 | 25 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | Forestal A Agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 5027 | 702 | 1455 | 772 | 437 | | | 34 | 527 | 1100 | 0 | 0 |
| 30 | VNatural A Secano | 3596 | | | 174 | 99 | | | 877 | 133 | 1882 | 269 | 161 |
| 31 | V Natural | 700 | | | 16 | 8 | | | 31 | 459 | 180 | 3 | 3 |
| 32 | VNatural A EA. | 213 | | | 0 | 0 | | | 25 | 13 | 84 | 67 | 24 |
| 33 | V Natural A Forestal | 104 | | | 2 | 5 | | | 2 | 16 | 79 | | |
| 34 | VNatural A Regadio | 45 | | | | | | | | 20 | 25 | | |
| 35 | VNatural A Agua | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| 36 | EAbiertos/Urbano | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | | | | | | | | | | | | | |
| 39 | EAbiertos | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | Agua A Secano | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | Agua A EA | | | | | | | | | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | | | | | | | | | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | | | | | | | | | | | | | |
| 49 | Agua | | | | | | | | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 69190 | 3794 | 7486 | 6972 | 6950 | 6937 | 6918 | 7182 | 7249 | 7182 | 6660 | 1859 | |
| Total cambios | | 23029 | 829 | 2153 | 2248 | 2037 | 3150 | 1772 | 2765 | 1868 | 4011 | 1746 | 449 | |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 16: Evolución de usos del suelo por coronas en la carretera de Extremadura

| Nº Clase | Nombre Clase | Extremadura | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|----------|-------------------|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | Urbano | 22885 | 956 | 8660 | 5193 | 1984 | 2490 | 893 | 922 | 685 | 84 | 277 | 606 | 1 |
| 2 | Urbano A Secano | 2101 | | 2 | 10 | 510 | 325 | 312 | 337 | 137 | 6 | 152 | 0 | 3 |
| 3 | Urbano A VNatural | 1544 | | 626 | 544 | 274 | 40 | 17 | 11 | 19 | 0 | 12 | 0 | |
| 4 | Urbano A EA | 68 | | 3 | 6 | 20 | 4 | 17 | 2 | 0 | 0 | 14 | 0 | |
| 5 | Urbano A Forestal | 616 | | 383 | 191 | 15 | 2 | 9 | 7 | 9 | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | Urbano A Regadio | 6 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | |
| 7 | Urbano A Agua | 50 | | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Secano/Urbano | 7394 | | 0 | 0 | 357 | 1317 | 1617 | 1393 | 11 | 509 | 1036 | 1048 | 1 |
| 9 | Secano | 32292 | | 0 | 0 | 792 | 2587 | 3573 | 5155 | 2254 | 2749 | 4881 | 5700 | 46 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|------|--|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|---|
| 10 | Secano/V. Natural | 861 | | 0 | 0 | 302 | 35 | 70 | 28 | 48 | 214 | 83 | 4 | |
| 11 | Secano/E Abiertos | 1144 | | 0 | 0 | 31 | 121 | 106 | 92 | 219 | 36 | 113 | 39 | 3 |
| 12 | Secano /Forestal | 554 | | 0 | 0 | 24 | 3 | 18 | 53 | 14 | 325 | 69 | 1 | 4 |
| 13 | Secano/Regadio | 335 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68 | 0 | 136 | 131 | | |
| 14 | Secano Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 15 | Regadio/Urbano | 142 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 142 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 16 | Regadio A Secano | 185 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 185 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 17 | RegadioA VNatural | 42 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 18 | Regadio A EA | 1 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 19 | Regadio A Forestal | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 20 | Regadio | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 21 | Regadio A Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 22 | Forestal /Urbano | 1309 | | 932 | 164 | 52 | 0 | | 0 | 0 | 161 | 0 | | |
| 23 | Forestal A Secano | 780 | | 14 | 2 | 273 | 0 | | 0 | 0 | 335 | 156 | | |
| 24 | Forestal A V Natural | 1619 | | 526 | 657 | 70 | 0 | | 0 | 0 | 307 | 59 | | |
| 25 | Forestal A EA | 10 | | 5 | 0 | 4 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| 26 | Forestal | 1933 | | 320 | 804 | 49 | 0 | | 0 | 0 | 738 | 22 | | |
| 27 | Forestal A Regadio | 356 | | 4 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 269 | 83 | | |
| 28 | Forestal A Agua | 2 | | 2 | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | | | |
| 29 | V Natural/Urbano | 4187 | | 12 | 951 | 995 | 9 | | 233 | 1377 | 561 | | | 4 |
| 30 | VNatural A Secano | 4333 | | 11 | 37 | 1165 | 120 | | 27 | 2355 | 501 | | | 1 |
| 31 | V Natural | 1883 | | 726 | 416 | 580 | 1 | | | 101 | 59 | | | |
| 32 | VNatural A EA. | 80 | | 6 | 3 | 20 | | | | 0 | 5 | | | 4 |
| 33 | V Natural A Forestal | 585 | | 410 | 38 | 37 | | | | 48 | 52 | | | |
| 34 | VNatural A Regadio | 297 | | 0 | | | | | | 27 | 270 | | | |
| 35 | VNatural A Agua | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 39 | EAbiertos | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|-------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 43 | Agua A Urbano | 12 | | 12 | | | | | | | | | | |
| 44 | Agua A Secano | 2 | | 2 | | | | | | | | | | |
| 45 | Agua A VNatural | 159 | | 159 | | | | | | | | | | |
| 46 | Agua A EA | 0 | | 0 | | | | | | | | | | |
| 47 | Agua A Forestal | 51 | | 51 | | | | | | | | | | |
| 48 | Agua A REgadio | 69 | | | | | 69 | | | | | | | |
| 49 | Agua | | | | | | | | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 87818 | 956 | 12916 | 9016 | 7554 | 7054 | 7002 | 8328 | 7304 | 7322 | 7090 | 7398 | 58 |
| Total cambios | | 28825 | 0 | 3210 | 2603 | 4149 | 1976 | 2536 | 2251 | 4264 | 3692 | 1910 | 1092 | 11 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 17: Evolución de usos del suelo por coronas en la carretera de La Coruña

| Nº Clase | Nombre Clase | La Coruña | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 |
|----------|-------------------|-----------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | Urbano | 41093 | | 4584 | 5797 | 6284 | 1645 | 2562 | 1941 | 1745 | 3456 | 2404 | 1791 | 4 |
| 2 | Urbano A Secano | 303 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 260 | 20 | 3 | 1 | 1 | |
| 3 | Urbano A VNatural | 4430 | | 0 | 0 | 218 | 587 | 336 | 104 | 39 | 652 | 273 | 328 | 2 |
| 4 | Urbano A EA | 18 | | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 5 | Urbano A Forestal | 1689 | | 0 | 0 | 124 | 254 | 140 | 25 | 7 | 279 | 88 | 226 | |
| 6 | Urbano A Regadio | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 7 | Urbano A Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 8 | Secano/Urbano | 2921 | | 0 | 0 | 0 | 1 | 691 | 376 | 382 | 54 | 0 | 0 | |
| 9 | Secano | 142 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 93 | 5 | 1 | 0 | 0 | |
| 10 | Secano/V. Natural | 7568 | | 0 | 0 | 0 | 31 | 329 | 1859 | 453 | 342 | 0 | 0 | |
| 11 | Secano/E Abiertos | 393 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 190 | 148 | 0 | 0 | 0 | |
| 12 | Secano /Forestal | 2245 | | 0 | 0 | 0 | 18 | 132 | 54 | 8 | 133 | 0 | 0 | |
| 13 | Secano/Regadio | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 14 | Secano Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|-------|--|----|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|----|
| 15 | Regadio/Urbano | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16 | Regadio A Secano | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17 | RegadioA VNatural | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18 | Regadio A EA | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19 | Regadio A Forestal | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20 | Regadio | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21 | Regadio A Agua | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 22 | Forestal /Urbano | 2387 | | 28 | 849 | 37 | 365 | 9 | 0 | 123 | 132 | 0 | 375 | |
| 23 | Forestal A Secano | 155 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 69 | 81 | 0 | 0 | 0 | |
| 24 | Forestal A V Natural | 3280 | | | 0 | 10 | 915 | 12 | 202 | 94 | 62 | 0 | 352 | |
| 25 | Forestal A EA | 18 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | |
| 26 | Forestal | 4764 | | | 0 | 6 | 1245 | 4 | 180 | 112 | 18 | 0 | 254 | |
| 27 | Forestal A Regadio | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 28 | Forestal A Agua | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 29 | V Natural/Urbano | 15935 | | | 742 | 1355 | 796 | 149 | 764 | 3269 | 639 | 2601 | 1765 | 6 |
| 30 | VNatural A Secano | 907 | | | | | 15 | 0 | 559 | 172 | 3 | 6 | 2 | |
| 31 | V Natural | 27372 | | | | | 789 | 1990 | 920 | 1452 | 1397 | 1314 | 1904 | 44 |
| 32 | VNatural A EA. | 107 | | | | | 10 | 12 | 15 | 9 | 1 | 0 | 0 | |
| 33 | V Natural A Forestal | 12695 | | | | | 574 | 735 | 192 | 175 | 200 | 625 | 699 | 11 |
| 34 | VNatural A Regadio | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 35 | VNatural A Agua | 167 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 39 | EAbiertos | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 43 | Agua A Urbano | 90 | | | | | | | | | | | 90 | |
| 44 | Agua A Secano | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 45 | Agua A VNatural | 80 | | | | | | | | | | | 75 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 46 | Agua A EA | 0 | | | | | | | | | | | 0 | |
| 47 | Agua A Forestal | 54 | | | | | | | | | | | 17 | |
| 48 | Agua A REgadio | 0 | | | | | | | | | | | | |
| 49 | Agua | 16 | | | | | | | | | | | | |
| Total cambios +nocambios | | 128829 | 0 | 4612 | 7388 | 8034 | 7252 | 7106 | 7803 | 8302 | 7372 | 7312 | 7879 | 69 |
| Total cambios | | 55442 | 0 | 28 | 1591 | 1744 | 3573 | 2545 | 4669 | 4988 | 2500 | 3594 | 3930 | 21 |

| Nº Clase | Nombre Clase | La Coruña | C17 | C18 |
|----------|-------------------|-----------|-----|-----|
| 0 | | 0 | 0 | 0 |
| 1 | Urbano | 41093 | 0 | 0 |
| 2 | Urbano A Secano | 303 | 0 | 0 |
| 3 | Urbano A VNatural | 4430 | 26 | 0 |
| 4 | Urbano A EA | 18 | 0 | 0 |
| 5 | Urbano A Forestal | 1689 | 127 | 0 |
| 6 | Urbano A Regadio | 0 | 0 | 0 |
| 7 | Urbano A Agua | 0 | 0 | 0 |
| 8 | Secano/Urbano | 2921 | 0 | 0 |
| 9 | Secano | 142 | 0 | 0 |
| 10 | Secano/V. Natural | 7568 | 0 | 0 |
| 11 | Secano/E Abiertos | 393 | 0 | 0 |
| 12 | Secano /Forestal | 2245 | 0 | 0 |
| 13 | Secano/Regadio | 0 | 0 | 0 |
| 14 | Secano Agua | 0 | 0 | 0 |
| 15 | Regadio/Urbano | 0 | 0 | 0 |
| 16 | Regadio A Secano | 0 | 0 | 0 |
| 17 | RegadioA VNatural | 0 | 0 | 0 |
| 18 | Regadio A EA | 0 | 0 | 0 |

| | | | | |
|----|----------------------|-------|------|-----|
| 19 | Regadio A Forestal | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Regadio | 0 | 0 | 0 |
| 21 | Regadio A Agua | 0 | 0 | 0 |
| 22 | Forestal /Urbano | 2387 | 0 | 0 |
| 23 | Forestal A Secano | 155 | 2 | 0 |
| 24 | Forestal A V Natural | 3280 | 309 | 130 |
| 25 | Forestal A EA | 18 | 0 | 0 |
| 26 | Forestal | 4764 | 1807 | 253 |
| 27 | Forestal A Regadio | 0 | 0 | 0 |
| 28 | Forestal A Agua | 0 | 0 | 0 |
| 29 | V Natural/Urbano | 15935 | 116 | 10 |
| 30 | VNatural A Secano | 907 | 73 | 0 |
| 31 | V Natural | 27372 | 2850 | 122 |
| 32 | VNatural A EA. | 107 | 26 | 10 |
| 33 | V Natural A Forestal | 12695 | 4339 | 338 |
| 34 | VNatural A Regadio | 0 | | |
| 35 | VNatural A Agua | 167 | | |
| 36 | EAbiertos/Urbano | 0 | | |
| 37 | EAbiertos A Secano | 0 | | |
| 38 | EAbiertos A VNatural | 0 | | |
| 39 | EAbiertos | 0 | | |
| 40 | EAbiertos A Forestal | 0 | | |
| 41 | EAbiertos A Regadio | 0 | | |
| 42 | EAbiertos A Agua | 0 | | |
| 43 | Agua A Urbano | 90 | | |
| 44 | Agua A Secano | 0 | | |
| 45 | Agua A VNatural | 80 | | |
| 46 | Agua A EA | 0 | | |
| 47 | Agua A Forestal | 54 | | |
| 48 | Agua A REgadio | 0 | | |
| 49 | Agua | 16 | | |

| | | | |
|---------------------------------|---------------|-------------|------------|
| Total cambios +nocambios | 128829 | 9675 | 863 |
| Total cambios | 55442 | 5018 | 488 |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 18: Cambios ponderados en la carretera de Burgos

| | TOTAL | CAMBIOS | % TOTAL CAMBIOS | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|--------------------|-------|---------|--------------------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 0 | 0 | | 0,00 | | | 0 |
| CORONA2 (3-6Km) | 0 | 0 | | 0,00 | | | 0 |
| CORONA3 (6-9Km) | 3005 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| CORONA4 (9-12Km) | 12141 | 4198 | | 4,03 | 34,58 | 67,96 | 5 |
| CORONA5 12-15Km) | 11505 | 5020 | | 4,82 | 43,63 | 85,76 | 4 |
| CORONA6 (15-18Km) | 7824 | 3251 | | 3,12 | 41,55 | 81,67 | 4 |
| CORONA7 (18-21Km) | 7319 | 3199 | | 3,07 | 43,71 | 85,90 | 4 |
| CORONA8 (21-24Km) | 7125 | 3404 | | 3,27 | 47,78 | 93,90 | 4 |
| CORONA9 (24-27Km) | 8518 | 3610 | | 3,46 | 42,38 | 83,30 | 4 |
| CORONA10 (27-30Km) | 8641 | 6164 | | 5,92 | 71,33 | 140,20 | 2 |
| CORONA11 (30-33Km) | 8075 | 5253 | | 5,04 | 65,05 | 127,86 | 2 |
| CORONA12 (33-36Km) | 7522 | 5697 | | 5,47 | 75,74 | 148,86 | 2 |
| CORONA13 (36-39Km) | 9166 | 5177 | | 4,97 | 56,48 | 111,01 | 3 |
| CORONA14 (39-42Km) | 8478 | 3383 | | 3,25 | 39,90 | 78,43 | 4 |
| CORONA15 (42-45Km) | 7935 | 3829 | | 3,67 | 48,25 | 94,84 | 4 |
| CORONA16 (45-48Km) | 7262 | 3665 | | 3,52 | 50,47 | 99,19 | 4 |
| CORONA17 (48-51Km) | 7279 | 2040 | | 1,96 | 28,03 | 55,08 | 5 |
| CORONA18 (51-54) | 7739 | 4156 | | 3,99 | 53,70 | 105,55 | 3 |
| CORONA19 (54-57Km) | 7928 | 4152 | | 3,98 | 52,37 | 102,93 | 3 |
| CORONA20 (57-60Km) | 8693 | 4361 | | 4,19 | 50,17 | 98,60 | 4 |
| CORONA21 (60-63Km) | 7576 | 3519 | | 3,38 | 46,45 | 91,29 | 4 |
| CORONA22 (63-66Km) | 7030 | 3435 | | 3,30 | 48,86 | 96,03 | 4 |
| CORONA23 (66-69Km) | 7304 | 2860 | | 2,74 | 39,16 | 76,96 | 4 |
| CORONA24 (69-72Km) | 7158 | 4269 | | 4,10 | 59,64 | 117,22 | 3 |
| CORONA25 (72-75Km) | 7268 | 5707 | | 5,48 | 78,52 | 154,33 | 1 |
| CORONA26 (75-78Km) | 7136 | 5525 | | 5,30 | 77,42 | 152,17 | 1 |
| CORONA27 (78-81Km) | 7460 | 4097 | | 3,93 | 54,92 | 107,94 | 3 |
| CORONA28 (81-84Km) | 6979 | 3636 | | 3,49 | 52,10 | 102,40 | 3 |
| CORONA29 (84-87Km) | 711 | 589 | | 0,57 | 82,84 | 162,82 | 1 |

| | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--|
| BURGOS | 204777 | 104196 | 50,88 | 100,00 | 50,88 | 100,00 | |
|---------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--|

Fuente: Elaboración propia

Anexo 19: Cambios ponderados en la carretera de Barcelona

| | TOTAL | CAMBIOS | % TOTAL CAMBIOS | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|---------------------------|-------|---------|--------------------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 0 | 0 | | 0,00 | | | 0 |
| CORONA2 (3-6Km) | 4070 | 42 | | 0,12 | 1,03 | 2,52 | 6 |
| CORONA3 (6-9Km) | 9441 | 2276 | | 6,66 | 24,11 | 58,87 | 5 |
| CORONA4 (9-12Km) | 8224 | 3741 | | 10,95 | 45,49 | 111,08 | 3 |
| CORONA5 12-15Km) | 7391 | 2327 | | 6,81 | 31,48 | 76,88 | 4 |
| CORONA6 (15-18Km) | 7130 | 1820 | | 5,33 | 25,53 | 62,33 | 5 |
| CORONA7 (18-21Km) | 7330 | 1494 | | 4,37 | 20,38 | 49,77 | 5 |
| CORONA8 (21-24Km) | 7417 | 2468 | | 7,22 | 33,27 | 81,26 | 4 |
| CORONA9 (24-27Km) | 7773 | 5671 | | 16,60 | 72,96 | 178,16 | 1 |
| CORONA10 (27-30Km) | 7129 | 3804 | | 11,14 | 53,36 | 130,30 | 2 |
| CORONA11 (30-33Km) | 7701 | 3846 | | 11,26 | 49,94 | 121,96 | 3 |
| CORONA12 (33-36Km) | 7212 | 4805 | | 14,07 | 66,63 | 162,70 | 1 |
| CORONA13 (36-39Km) | 2602 | 1866 | | 5,46 | 71,71 | 175,13 | 1 |
| BARCELONA | 83420 | 34160 | 40,95 | 100,00 | 40,95 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 20: Cambios ponderados en la carretera de Valencia

| | TOTAL | CAMBIOS | % TOTAL CAMBIOS | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|--------------------|---------------|--------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 4733 | 30 | | 0,05 | 0,63 | 1,72 | 6 |
| CORONA2 (3-6Km) | 7430 | 1615 | | 2,90 | 21,74 | 59,05 | 5 |
| CORONA3 (6-9Km) | 7757 | 2500 | | 4,49 | 32,23 | 87,55 | 4 |
| CORONA4 (9-12Km) | 7084 | 2437 | | 4,37 | 34,40 | 93,46 | 4 |
| CORONA5 12-15Km) | 7593 | 5355 | | 9,61 | 70,53 | 191,59 | 1 |
| CORONA6 (15-18Km) | 7259 | 5808 | | 10,42 | 80,01 | 217,36 | 1 |
| CORONA7 (18-21Km) | 7255 | 3678 | | 6,60 | 50,70 | 137,72 | 2 |
| CORONA8 (21-24Km) | 7584 | 3620 | | 6,50 | 47,73 | 129,67 | 2 |
| CORONA9 (24-27Km) | 7936 | 4370 | | 7,84 | 55,07 | 149,59 | 1 |
| CORONA10 (27-30Km) | 7327 | 2250 | | 4,04 | 30,71 | 83,42 | 4 |
| CORONA11 (30-33Km) | 7053 | 2773 | | 4,98 | 39,32 | 106,81 | 3 |
| CORONA12 (33-36Km) | 7833 | 4042 | | 7,25 | 51,60 | 140,19 | 2 |
| CORONA13 (36-39Km) | 7421 | 1856 | | 3,33 | 25,01 | 67,94 | 5 |
| CORONA14 (39-42Km) | 7484 | 1888 | | 3,39 | 25,23 | 68,53 | 5 |
| CORONA15 (42-45Km) | 7503 | 1496 | | 2,68 | 19,94 | 54,17 | 5 |
| CORONA16 (45-48Km) | 7268 | 1998 | | 3,59 | 27,49 | 74,68 | 5 |
| CORONA17 (48-51Km) | 7355 | 2387 | | 4,28 | 32,45 | 88,17 | 4 |
| CORONA18 (51-54) | 7141 | 2155 | | 3,87 | 30,18 | 81,98 | 4 |
| CORONA19 (54-57Km) | 7260 | 3630 | | 6,51 | 50,00 | 135,83 | 2 |
| CORONA20 (57-60Km) | 7132 | 1280 | | 2,30 | 17,95 | 48,76 | 6 |
| CORONA21 (60-63Km) | 5939 | 550 | | 0,99 | 9,26 | 25,16 | 6 |
| VALENCIA | 151347 | 55718 | 36,81 | 100,00 | 36,81 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 21: Cambios ponderados en la carretera de Andalucía

| | TOTAL | CAMBIOS | % TOTAL CAMBIOS | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|---------------------------|-------|---------|--------------------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 3794 | 829 | | 3,60 | 21,85 | 65,66 | 5 |
| CORONA2 (3-6Km) | 7486 | 2153 | | 9,35 | 28,76 | 86,42 | 4 |
| CORONA3 (6-9Km) | 6972 | 2248 | | 9,76 | 32,24 | 96,88 | 4 |
| CORONA4 (9-12Km) | 6950 | 2037 | | 8,85 | 29,31 | 88,07 | 4 |
| CORONA5 12-15Km) | 6937 | 3150 | | 13,68 | 45,41 | 136,44 | 2 |
| CORONA6 (15-18Km) | 6918 | 1772 | | 7,69 | 25,61 | 76,97 | 4 |
| CORONA7 (18-21Km) | 7182 | 2765 | | 12,01 | 38,50 | 115,68 | 3 |
| CORONA8 (21-24Km) | 7249 | 1868 | | 8,11 | 25,77 | 77,43 | 4 |
| CORONA9 (24-27Km) | 7182 | 4011 | | 17,42 | 55,85 | 167,81 | 1 |
| CORONA10 (27-30Km) | 6660 | 1746 | | 7,58 | 26,22 | 78,77 | 4 |
| CORONA11 (30-33Km) | 1859 | 449 | | 1,95 | 24,15 | 72,57 | 5 |
| ANDALUCIA | 69189 | 23028 | 33,28 | 100,00 | 33,28 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 22: Cambios ponderados en la carretera de Extremadura

| | TOTAL | CAMBIOS | % TOTAL CAMBIOS | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|---------------------------|-------|---------|--------------------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 956 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| CORONA2 (3-6Km) | 12916 | 3210 | | 11,14 | 24,85 | 75,72 | 4 |
| CORONA3 (6-9Km) | 9016 | 2603 | | 9,03 | 28,87 | 87,97 | 4 |
| CORONA4 (9-12Km) | 7554 | 4149 | | 14,39 | 54,92 | 167,35 | 1 |
| CORONA5 12-15Km) | 7054 | 1976 | | 6,86 | 28,01 | 85,35 | 4 |
| CORONA6 (15-18Km) | 7002 | 2536 | | 8,80 | 36,22 | 110,35 | 3 |
| CORONA7 (18-21Km) | 8328 | 2251 | | 7,81 | 27,03 | 82,36 | 4 |
| CORONA8 (21-24Km) | 7304 | 4264 | | 14,79 | 58,38 | 177,88 | 1 |
| CORONA9 (24-27Km) | 7322 | 3692 | | 12,81 | 50,42 | 153,64 | 1 |
| CORONA10 (27-30Km) | 7090 | 1910 | | 6,63 | 26,94 | 82,08 | 4 |
| CORONA11 (30-33Km) | 7398 | 1092 | | 3,79 | 14,76 | 44,97 | 6 |
| CORONA12 (33-36Km) | 5878 | 1142 | | 3,96 | 19,43 | 59,20 | 5 |
| EXTREMADURA | 87818 | 28825 | 32,82 | 100,00 | 32,82 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 23: Cambios ponderados en la carretera de La Coruña

| | TOTAL | CAMBIOS | % TOTAL CAMBIOS | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|---------------------------|--------|---------|--------------------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 0 | 0 | | 0,00 | | | 0 |
| CORONA2 (3-6Km) | 4612 | 28 | | 0,05 | 0,61 | 1,41 | 6 |
| CORONA3 (6-9Km) | 7388 | 1591 | | 2,87 | 21,53 | 50,03 | 5 |
| CORONA4 (9-12Km) | 8034 | 1744 | | 3,15 | 21,71 | 50,44 | 5 |
| CORONA5 12-15Km) | 7252 | 3573 | | 6,44 | 49,27 | 114,47 | 3 |
| CORONA6 (15-18Km) | 7106 | 2545 | | 4,59 | 35,81 | 83,21 | 4 |
| CORONA7 (18-21Km) | 7803 | 4669 | | 8,42 | 59,84 | 139,02 | 2 |
| CORONA8 (21-24Km) | 8302 | 4988 | | 9,00 | 60,08 | 139,60 | 2 |
| CORONA9 (24-27Km) | 7372 | 2500 | | 4,51 | 33,91 | 78,79 | 4 |
| CORONA10 (27-30Km) | 7312 | 3594 | | 6,48 | 49,15 | 114,20 | 3 |
| CORONA11 (30-33Km) | 7879 | 3930 | | 7,09 | 49,88 | 115,89 | 3 |
| CORONA12 (33-36Km) | 6997 | 2128 | | 3,84 | 30,41 | 70,66 | 5 |
| CORONA13 (36-39Km) | 7290 | 2314 | | 4,17 | 31,74 | 73,75 | 5 |
| CORONA14 (39-42Km) | 9115 | 3232 | | 5,83 | 35,46 | 82,38 | 4 |
| CORONA15 (42-45Km) | 11267 | 7927 | | 14,30 | 70,36 | 163,47 | 1 |
| CORONA16 (45-48Km) | 10562 | 5173 | | 9,33 | 48,98 | 113,80 | 3 |
| CORONA17 (48-51Km) | 9675 | 5018 | | 9,05 | 51,87 | 120,51 | 3 |
| CORONA18 (51-54) | 863 | 488 | | 0,88 | 56,55 | 131,38 | 2 |
| LA CORUÑA | 128829 | 55442 | 43,04 | 100,00 | 43,04 | 100,0 | |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 24: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Burgos. Fuente: Elaboración Propia.

| | CAMBIOS | A URBANO | % TOTAL | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|--------------------|---------|----------|---------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 0 | 0 | | | | | |
| CORONA2 (3-6Km) | 0 | 0 | | | | | |
| CORONA3 (6-9Km) | 0 | 0 | | | | | |
| CORONA4 (9-12Km) | 4198 | 2234 | | 12,19 | 53,22 | 302,53 | 1 |
| CORONA5 12-15Km) | 5020 | 2818 | | 15,37 | 56,14 | 319,13 | 1 |
| CORONA6 (15-18Km) | 3251 | 3243 | | 17,69 | 99,75 | 567,11 | 1 |
| CORONA7 (18-21Km) | 3199 | 911 | | 4,97 | 28,48 | 161,90 | 1 |
| CORONA8 (21-24Km) | 3404 | 810 | | 4,42 | 23,80 | 135,28 | 2 |
| CORONA9 (24-27Km) | 3610 | 1247 | | 6,80 | 34,54 | 196,38 | 1 |
| CORONA10 (27-30Km) | 6164 | 904 | | 4,93 | 14,67 | 83,38 | 4 |
| CORONA11 (30-33Km) | 5253 | 1327 | | 7,24 | 25,26 | 143,61 | 2 |
| CORONA12 (33-36Km) | 5697 | 60 | | 0,33 | 1,05 | 5,99 | 6 |
| CORONA13 (36-39Km) | 5177 | 614 | | 3,35 | 11,86 | 67,43 | 5 |
| CORONA14 (39-42Km) | 3383 | 82 | | 0,45 | 2,42 | 13,78 | 6 |
| CORONA15 (42-45Km) | 3829 | 313 | | 1,71 | 8,17 | 46,47 | 6 |
| CORONA16 (45-48Km) | 3665 | 591 | | 3,22 | 16,13 | 91,67 | 4 |
| CORONA17 (48-51Km) | 2040 | 192 | | 1,05 | 9,41 | 53,51 | 5 |
| CORONA18 (51-54) | 4156 | 1127 | | 6,15 | 27,12 | 154,16 | 1 |
| CORONA19 (54-57Km) | 4152 | 19 | | 0,10 | 0,46 | 2,60 | 6 |
| CORONA20 (57-60Km) | 4361 | 488 | | 2,66 | 11,19 | 63,62 | 5 |
| CORONA21 (60-63Km) | 3519 | 64 | | 0,35 | 1,82 | 10,34 | 6 |
| CORONA22 (63-66Km) | 3435 | 711 | | 3,88 | 20,70 | 117,67 | 3 |
| CORONA23 (66-69Km) | 2860 | 256 | | 1,40 | 8,95 | 50,89 | 5 |
| CORONA24 (69-72Km) | 4269 | 136 | | 0,74 | 3,19 | 18,11 | 6 |
| CORONA25 (72-75Km) | 5707 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| CORONA26 (75-78Km) | 5525 | 10 | | 0,05 | 0,18 | 1,03 | 6 |
| CORONA27 (78-81Km) | 4097 | 37 | | 0,20 | 0,90 | 5,13 | 6 |
| CORONA28 (81-84Km) | 3636 | 137 | | 0,75 | 3,77 | 21,42 | 6 |
| CORONA29 (84-87Km) | 589 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| BURGOS | 104196 | 18331 | 17,59 | 100,00 | 17,59 | 100,00 | |

Anexo 25: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Barcelona.

| | CAMBIOS | A URBANO | % TOTAL | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|--------------------|---------|----------|---------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 0 | 0 | | 0,00 | | | |
| CORONA2 (3-6Km) | 42 | 42 | | 0,25 | 100,00 | 203,33 | 1 |
| CORONA3 (6-9Km) | 2276 | 2276 | | 13,55 | 100,00 | 203,33 | 1 |
| CORONA4 (9-12Km) | 3741 | 3741 | | 22,27 | 100,00 | 203,33 | 1 |
| CORONA5 12-15Km) | 2327 | 1173 | | 6,98 | 50,41 | 102,50 | 3 |
| CORONA6 (15-18Km) | 1820 | 368 | | 2,19 | 20,22 | 41,11 | 6 |
| CORONA7 (18-21Km) | 1494 | 967 | | 5,76 | 64,73 | 131,61 | 2 |
| CORONA8 (21-24Km) | 2468 | 1551 | | 9,23 | 62,84 | 127,78 | 2 |
| CORONA9 (24-27Km) | 5671 | 3668 | | 21,83 | 64,68 | 131,52 | 2 |
| CORONA10 (27-30Km) | 3804 | 2366 | | 14,08 | 62,20 | 126,47 | 2 |
| CORONA11 (30-33Km) | 3846 | 648 | | 3,86 | 16,85 | 34,26 | 6 |
| CORONA12 (33-36Km) | 4805 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| CORONA13 (36-39Km) | 1866 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| BARCELONA | 34160 | 16800 | 49,18 | 100,00 | 49,18 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 26: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Valencia.

| | CAMBIOS | A URBANO | % TOTAL | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|--------------------|---------|----------|---------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 30 | 30 | | 0,22 | 100,00 | 406,67 | 1 |
| CORONA2 (3-6Km) | 1615 | 1568 | | 11,45 | 97,09 | 394,83 | 1 |
| CORONA3 (6-9Km) | 2500 | 1584 | | 11,56 | 63,36 | 257,67 | 1 |
| CORONA4 (9-12Km) | 2437 | 1059 | | 7,73 | 43,46 | 176,72 | 1 |
| CORONA5 12-15Km) | 5355 | 1952 | | 14,25 | 36,45 | 148,24 | 2 |
| CORONA6 (15-18Km) | 5808 | 1243 | | 9,07 | 21,40 | 87,03 | 4 |
| CORONA7 (18-21Km) | 3678 | 1039 | | 7,58 | 28,25 | 114,88 | 3 |
| CORONA8 (21-24Km) | 3620 | 2040 | | 14,89 | 56,35 | 229,17 | 1 |
| CORONA9 (24-27Km) | 4370 | 422 | | 3,08 | 9,66 | 39,27 | 6 |
| CORONA10 (27-30Km) | 2250 | 159 | | 1,16 | 7,07 | 28,74 | 6 |
| CORONA11 (30-33Km) | 2773 | 12 | | 0,09 | 0,43 | 1,76 | 6 |
| CORONA12 (33-36Km) | 4042 | 627 | | 4,58 | 15,51 | 63,08 | 5 |
| CORONA13 (36-39Km) | 1856 | 170 | | 1,24 | 9,16 | 37,25 | 6 |
| CORONA14 (39-42Km) | 1888 | 93 | | 0,68 | 4,93 | 20,03 | 6 |
| CORONA15 (42-45Km) | 1496 | 777 | | 5,67 | 51,94 | 211,22 | 1 |
| CORONA16 (45-48Km) | 1998 | 4 | | 0,03 | 0,20 | 0,81 | 6 |
| CORONA17 (48-51Km) | 2387 | 125 | | 0,91 | 5,24 | 21,30 | 6 |
| CORONA18 (51-54) | 2155 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| CORONA19 (54-57Km) | 3630 | 628 | | 4,58 | 17,30 | 70,35 | 5 |
| CORONA20 (57-60Km) | 1280 | 168 | | 1,23 | 13,13 | 53,38 | 5 |
| CORONA21 (60-63Km) | 550 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6 |
| VALENCIA | 55718 | 13700 | 24,59 | 100,00 | 24,59 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 27: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Andalucía

| | CAMBIOS | A URBANO | % TOTAL | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|---------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|--------------|
| CORONA1 (0-3Km) | 829 | 829 | | 6,47 | 100,00 | 179,73 | 1 |
| CORONA2 (3-6Km) | 2153 | 2153 | | 16,80 | 100,00 | 179,73 | 1 |
| CORONA3 (6-9Km) | 2248 | 1970 | | 15,38 | 87,63 | 157,50 | 1 |
| CORONA4 (9-12Km) | 2037 | 1339 | | 10,45 | 65,73 | 118,14 | 3 |
| CORONA5 12-15Km) | 3150 | 1667 | | 13,01 | 52,92 | 95,11 | 4 |
| CORONA6 (15-18Km) | 1772 | 1292 | | 10,08 | 72,91 | 131,04 | 2 |
| CORONA7 (18-21Km) | 2765 | 1142 | | 8,91 | 41,30 | 74,23 | 5 |
| CORONA8 (21-24Km) | 1868 | 955 | | 7,45 | 51,12 | 91,88 | 3 |
| CORONA9 (24-27Km) | 4011 | 1399 | | 10,92 | 34,88 | 62,69 | 5 |
| CORONA10 (27-30Km) | 1746 | 56 | | 0,44 | 3,21 | 5,76 | 6 |
| CORONA11 (30-33Km) | 449 | 11 | | 0,09 | 2,45 | 4,40 | 6 |
| ANDALUCIA | 23028 | 12813 | 55,64 | 100,00 | 55,64 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 28: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Extremadura.

| | CAMBIOS | A URBANO | % TOTAL | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|---------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------------|--------------|
| CORONA1 (0-3Km) | 0 | 0 | | 0,00 | | | |
| CORONA2 (3-6Km) | 3210 | 956 | | 7,33 | 29,78 | 65,82 | 5 |
| CORONA3 (6-9Km) | 2603 | 1115 | | 8,55 | 42,84 | 94,66 | 4 |
| CORONA4 (9-12Km) | 4149 | 1404 | | 10,76 | 33,84 | 74,78 | 5 |
| CORONA5 12-15Km) | 1976 | 1326 | | 10,17 | 67,11 | 148,30 | 2 |
| CORONA6 (15-18Km) | 2536 | 1759 | | 13,49 | 69,36 | 153,28 | 1 |
| CORONA7 (18-21Km) | 2251 | 1626 | | 12,47 | 72,23 | 159,63 | 1 |
| CORONA8 (21-24Km) | 4264 | 1388 | | 10,64 | 32,55 | 71,94 | 5 |
| CORONA9 (24-27Km) | 3692 | 1231 | | 9,44 | 33,34 | 73,68 | 5 |
| CORONA10 (27-30Km) | 1910 | 1036 | | 7,94 | 54,24 | 119,87 | 3 |
| CORONA11 (30-33Km) | 1092 | 1048 | | 8,03 | 95,97 | 212,09 | 1 |
| CORONA12 (33-36Km) | 1142 | 155 | | 1,19 | 13,57 | 29,99 | 6 |
| EXTREMADURA | 28825 | 13044 | 45,25 | 100,00 | 45,25 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 29: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de La Coruña.

| | CAMBIOS | A URBANO | % TOTAL | % TOTAL | TOTAL/CAMBIO | NORMALIZACION | VALOR |
|--------------------|---------|----------|---------|---------|--------------|---------------|-------|
| CORONA1 (0-3Km) | 0 | 0 | | 0,00 | | 0 | |
| CORONA2 (3-6Km) | 28 | 28 | | 0,13 | 100,00 | 259,88 | 1 |
| CORONA3 (6-9Km) | 1591 | 1591 | | 7,46 | 100,00 | 259,88 | 1 |
| CORONA4 (9-12Km) | 1744 | 1392 | | 6,53 | 79,82 | 207,42 | 1 |
| CORONA5 12-15Km) | 3573 | 1162 | | 5,45 | 32,52 | 84,52 | 4 |
| CORONA6 (15-18Km) | 2545 | 849 | | 3,98 | 33,36 | 86,69 | 4 |
| CORONA7 (18-21Km) | 4669 | 1140 | | 5,34 | 24,42 | 63,45 | 5 |
| CORONA8 (21-24Km) | 4988 | 3774 | | 17,69 | 75,66 | 196,63 | 1 |
| CORONA9 (24-27Km) | 2500 | 825 | | 3,87 | 33,00 | 85,76 | 4 |
| CORONA10 (27-30Km) | 3594 | 2601 | | 12,19 | 72,37 | 188,07 | 1 |
| CORONA11 (30-33Km) | 3930 | 2230 | | 10,45 | 56,74 | 147,46 | 2 |
| CORONA12 (33-36Km) | 2128 | 687 | | 3,22 | 32,28 | 83,90 | 4 |
| CORONA13 (36-39Km) | 2314 | 1208 | | 5,66 | 52,20 | 135,67 | 2 |
| CORONA14 (39-42Km) | 3232 | 1113 | | 5,22 | 34,44 | 89,49 | 4 |
| CORONA15 (42-45Km) | 7927 | 1288 | | 6,04 | 16,25 | 42,23 | 6 |
| CORONA16 (45-48Km) | 5173 | 1319 | | 6,18 | 25,50 | 66,26 | 2 |
| CORONA17 (48-51Km) | 5018 | 116 | | 0,54 | 2,31 | 6,01 | 6 |
| CORONA18 (51-54) | 488 | 10 | | 0,05 | 2,05 | 5,33 | 6 |
| LA CORUÑA | 55442 | 21333 | 38,48 | 100,00 | 38,48 | 100,00 | |

Fuente: Elaboración Propia.

LISTADO DE FIGURAS

LISTADO DE FIGURAS

- ◆ Figura N° 1: Construcción de modelos
- ◆ Figura N° 2: Formas Fractales
- ◆ Figura N° 3: Evolución del sistema de transporte
- ◆ Figura N° 4: Evolución del sistema de transporte y forma urbana
- ◆ Figura N° 5: Efectos espaciales del uso del automóvil
- ◆ Figura N° 6: Interacción transportes y los usos del suelo
- ◆ Figura N° 7: Estudios de Teledetección por área temática
- ◆ Figura N° 8: Proyecto Murbaydy en la ciudad de Viena.
- ◆ Figura N° 9: Satélite Landsat 4-5

- ◆ **Figura N° 10: Satélite ERS 1-2**

- ◆ **Figura N° 11: Satélite JERS**

- ◆ **Figura N° 12: Satélite RADARSAT**

- ◆ **Figura N° 13: Satélite IRS**

- ◆ **Figura N° 14: Satélite IKONOS**
- ◆ Figura N° 15: Estructura ERDAS IMAGINE 8.3.1
- ◆ Figura N° 16: Módulos de ERDAS IMAGINE 8.3.1
- ◆ Figura N° 17: IMAGINE ESENCIAL
- ◆ Figura N° 18: ERDAS IMAGINE Avanzado
- ◆ Figura N° 19: ERDAS IMAGINE Profesional
- ◆ Figura N° 20: ERDAS MapSheets
- ◆ Figura N° 21: Mapa de usos del suelo y vegetación de la Comunidad de Madrid
- ◆ Figura N° 22a Contorno provincial de la Comunidad de Madrid en formato ARC/INFO
- ◆ Figura N° 22b: Propiedades del contorno provincial de la Comunidad de Madrid en formato en formato ARC/INFO
- ◆ Figura N° 23: Carreteras principales de España
- ◆ Figura N° 24: Comunicaciones de la Comunidad de Madrid
- ◆ Figura N° 25: Atributos de los vectores
- ◆ Figura N° 26: Carreteras principales de la Comunidad de Madrid.
- ◆ Figura N° 27: Importación de Coberturas CORINE
- ◆ Figura N° 28: Cobertura CORINE formato ARC/INFO
- ◆ Figura N° 29: Transformación coberturas a formato raster

- ◆ Figura Nº 30: Cobertura CORINE formato RASTER
- ◆ Figura Nº 31: Model Maker Mosaico
- ◆ Figura Nº 32: CORINE Comunidad de Madrid
- ◆ Figura Nº 33: Modelo de diferencia.
- ◆ Figura Nº 34: Esquema metodológico del procesamiento de las imágenes
- ◆ Figura Nº 35: Módulo IMPORT/EXPORT
- ◆ Figura Nº 36: Importación imágenes Landsat
- ◆ Figura Nº 37: Deformación Planimétrica debida al relieve en una fotografía vertical.
- ◆ Figura Nº 38: Línea de nadir.
- ◆ Figura Nº 39: Desplazamiento de la imagen.
- ◆ Figura Nº 40: Orientación exterior de una foto aérea.
- ◆ Figura Nº 41: Iniciación de la ecuación de la órbita
- ◆ Figura Nº 42: Ajuste de la ecuación de la órbita
- ◆ Figura Nº 43: Interpolación Bilineal
- ◆ Figura Nº 44: Interpolación Lineal
- ◆ Figura Nº 45: Convolución Cúbica
- ◆ Figura Nº 46: Resample
- ◆ Figura Nº 47: Imagen IRS de la Comunidad de Madrid
- ◆ Figura Nº 48: Imagen IRS de la Comunidad de Madrid
- ◆ Figura Nº 49: Mosaico de imágenes IRS de la Comunidad de Madrid
- ◆ Figura Nº 50: Mosaico de imágenes.
- ◆ Figura Nº 51: Subset de las imágenes LANDSAT TM.
- ◆ Figura Nº 52: Máscara de espacios urbanos.
- ◆ Figura Nº 53: Proceso de clasificación
- ◆ Figura Nº 54: Módulo Classifier.
- ◆ Figura Nº 55: Clasificación no Supervisada.
- ◆ Figura Nº 56: Fichero de muestras.
- ◆ Figura Nº 57: Separabilidad de las muestras.
- ◆ Figura Nº 58: Matriz de contingencia
- ◆ Figura Nº 59: Clasificación supervisada
- ◆ Figura Nº 60: Histograma de distancias.
- ◆ Figura Nº 61: Integración de la Información
- ◆ Figura Nº 62: Integración de la información
- ◆ Figura Nº 63: Recodificación de usos del suelo 1997.
- ◆ Figura Nº 64: Análisis Matricial
- ◆ Figura Nº 65: Generación de Buffers en las carreteras principales de la Comunidad de Madrid.
- ◆ Figura Nº 66: Generación de un fichero temático.
- ◆ Figura Nº 67: Cambios de usos del suelo en torno a las principales carreteras de la Comunidad de Madrid.
- ◆ Figura Nº 68: Transformación de usos del suelo a suelo urbano
- ◆ Figura Nº 69: Municipio de Boadilla del Monte,
- ◆ Figura Nº 70: Municipio de Getafe
- ◆ Figura Nº 71: Generación de isolíneas

- ◆ Figura Nº 72: Extracción de usos del suelo por coronas de distancia.
- ◆ Figura Nº73: Extracción de usos del suelo por coronas en la carretera de Burgos
- ◆ Figura Nº 74: Recodificación de la cuarta corona de la carretera de Burgos
- ◆ Figura Nº 75: Suma de coronas de la carretera de Burgos
- ◆ Figura Nº 76: Suma carreteras

LISTADO DE TABLAS

- ◆ Tabla Nº 1: Elementos del sistema urbano
- ◆ Tabla Nº 2: Escalas adecuadas según resolución espacial de las imágenes
- ◆ Tabla Nº 3: Satélites previstos en 1995
- ◆ Tabla Nº 4: Imágenes de satélite actuales de alta resolución
- ◆ Tabla Nº 5: Satélites previstos en el año 2000
- ◆ Tabla Nº 6: Operatividad y sensores de los satélites LANDSAT
- ◆ Tabla Nº 7: Características técnicas de los satélites
- ◆ Tabla Nº 8: Características comerciales de las imágenes de satélites.
- ◆ Tabla Nº 9: Características técnicas y comerciales de las imágenes procedentes de cámaras
- ◆ Tabla Nº 10: Variación resoluciones espaciales y ancho de barrido del Satélite RADARSAT
- ◆ Tabla Nº 11: Características de las imágenes de satélite seleccionadas.
- ◆ Tabla Nº 12: Leyenda Mapa de usos del suelo y vegetación de la Comunidad de Madrid
- ◆ Tabla Nº 13: Agrupación clases CORINE.
- ◆ Tabla Nº 14: Puntos de Control de la imagen LANDSAT TM
- ◆ Tabla Nº 15: Puntos de Control de la imagen IRS
- ◆ Tabla Nº 16: Agrupación de clases.
- ◆ Tabla Nº 17: Evolución usos del suelo en la Comunidad de Madrid 1987-97
- ◆ Tabla Nº 18: Análisis Matricial, refleja la nueva asignación de clases.
- ◆ Tabla Nº 19: Cambios usos del suelo en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997
- ◆ Tabla Nº 20: Nuevos usos del suelo en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997
- ◆ Tabla Nº 21: Usos del suelo desaparecidos en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997
- ◆ Tabla Nº 22: Cambio medio y procedencia cambios
- ◆ Tabla Nº 23: Recodificación del buffer de distancias
- ◆ Tabla Nº 24: Cambios totales por coronas y carreteras ponderados
- ◆ Tabla Nº 25: Cambios a Urbano por corona y carreteras ponderados

LISTADO DE GRÁFICOS

- ◆ Gráfico N° 1 Evolución usos del suelo en la Comunidad de Madrid 1987-97
- ◆ Gráfico N° 2: Nuevos usos del suelo en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997
- ◆ Gráfico N° 3: Usos del suelo desaparecidos en la Comunidad de Madrid y carreteras 1987-1997
- ◆ Gráfico N° 4: Cambio medio global
- ◆ Gráfico N° 5: Cambio a urbano procedente de otros usos
- ◆ Gráfico N° 6: Cambio a secano procedente de otros usos
- ◆ Gráfico N° 7: Cambio a regadío procedente de otros usos
- ◆ Gráfico N° 8: Cambio a forestal procedente de otros usos
- ◆ Gráfico N° 9: Cambio a vegetación natural procedente de otros usos
- ◆ Gráfico N° 10: Cambio a espacios abiertos procedente de otros usos
- ◆ Gráfico N° 11: Cambio a agua procedente de otros usos
- ◆ Gráfico N° 12: Distribución total de cambios por carreteras
- ◆ Gráfico N° 13: Cambios totales a urbano, distribuidos por carreteras
- ◆ Gráfico N° 14: Cambios totales a secano distribuidos por carreteras
- ◆ Gráfico N° 15: Cambios totales a regadío distribuidos por carreteras
- ◆ Gráfico N° 16: Cambios totales a forestal distribuidos por carreteras
- ◆ Gráfico N° 17: Cambios totales a vegetación natural distribuidos por carreteras
- ◆ Gráfico N° 18: Cambios totales a espacios abiertos distribuidos por carreteras
- ◆ Gráfico N° 19: Cambios totales a agua distribuidos por carreteras
- ◆ Gráfico N° 20: Cambios de secano a urbano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 21: Cambios de regadío a urbano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 22: Cambios de forestal a urbano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 23: Cambios de vegetación natural a urbano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 24: Cambios de espacios abiertos a urbano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 25: Cambios de agua a urbano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 26: Cambios de urbano a secano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 27: Cambios de regadío a secano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 28: Cambios de forestal a secano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 29: Cambios de vegetación natural a secano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 30: Cambios de espacios abiertos a secano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 31: Cambios de agua a secano diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 32: Cambios de urbano a regadío diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 33: Cambios de secano a regadío diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 34: Cambios de forestal a regadío diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 35: Cambios de vegetación natural a regadío diferenciado por carreteras.

- ◆ Gráfico N° 36: Cambios de espacios abiertos a regadío diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 37: Cambios de agua a regadío diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 38: Cambios de urbano a forestal diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 39: Cambios de secano a forestal diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 40: Cambios de regadío a forestal diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 41: Cambios de vegetación natural a forestal diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 42: Cambios de espacios abiertos a forestal diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 43: Cambios de agua a forestal diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 44: Cambios de urbano a vegetación natural diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 45: Cambios de secano a vegetación natural diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 46: Cambios de regadío a vegetación natural diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 47: Cambios de forestal a vegetación natural diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 48: Cambios de espacios abiertos a vegetación natural diferenciado por carreteras
- ◆ Gráfico N° 49: Cambios de agua a vegetación natural diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 50: Cambios de urbano a espacios abiertos diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 51: Cambios de secano a espacios abiertos diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 52: Cambios de regadío a espacios abiertos diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 53: Cambios de forestal a espacios abiertos diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 54: Cambios de vegetación natural a espacios abiertos diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 55: Cambios de agua a espacios abiertos diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 56: Cambios de urbano a agua diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 57: Cambios de regadío a agua diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 58: Cambios de forestal a agua diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 59: Cambios de vegetación natural a agua diferenciado por carreteras.
- ◆ Gráfico N° 60: Cambio medio por coronas
- ◆ Gráfico N° 61: Cambios totales ponderados en la carretera de Burgos.
- ◆ Gráfico N° 62: Cambios totales ponderados en la carretera de Barcelona.
- ◆ Gráfica N° 63: Cambios totales ponderados en la carretera de Valencia.
- ◆ Gráfico N° 64: Cambios totales ponderados en la carretera de Andalucía.

- ◆ Gráfico N° 65: Cambios totales ponderados en la carretera de Extremadura.
- ◆ Gráfico N° 66: Cambios totales ponderados en la carretera de La Coruña.
- ◆ Gráfico N° 67: Cambios totales por coronas y carreteras
- ◆ Gráfico N° 68: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Burgos.
- ◆ Gráfico N° 69: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Barcelona
- ◆ Gráfico N° 70: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Valencia
- ◆ Gráfico N° 71: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Andalucía
- ◆ Gráfico N°72: Cambios a Urbano ponderados en la carretera de Extremadura
- ◆ Gráfico N° 73: Cambios a Urbano ponderados en la carretera La Coruña.
- ◆ Gráfico N° 74: Cambios a urbano por coronas y carreteras
- ◆ Gráfico N° 75: Comparación de datos en la carretera de Burgos
- ◆ Gráfico N° 76: Comparación de datos en la carretera de Barcelona
- ◆ Gráfico N° 77: Comparación de datos en la carretera de Valencia
- ◆ Gráfico N° 78: Comparación de datos en la carretera de Andalucía
- ◆ Gráfico N° 79: Comparación de datos en la carretera de La Coruña
- ◆ Gráfico N° 80: Comparación de datos en la carretera de Extremadura

LISTADO DE MAPAS

- ◆ Mapa N° 1: Etapas de desarrollo urbano de Madrid
- ◆ Mapa N° 2: Modelo de desarrollo urbano de Madrid.
- ◆ **Mapa N° 3: Imagen LANDSAT de Madrid**
- ◆ **Mapa N° 4: Imagen LANDSAT 7 de Madrid**
- ◆ Mapa N° 5: Imagen SPOT Pancromática de Madrid
- ◆ Mapa N° 6: Imagen SPOT Multiespectral de Madrid
- ◆ Mapa N° 7: Imagen KVR1000 de Madrid

- ◆ **Mapa N° 8: Imagen ERS 1-2 de Madrid**

- ◆ **Mapa N° 9: Imagen JERS**

- ◆ **Mapa N° 10: Imagen RADARSAT de Madrid**

- ◆ **Mapa N° 11: IMAGEN IRS 1C de Madrid**

- ◆ **Mapa N° 12: IMAGEN IKONOS de Madrid**

- ◆ **Mapa N° 13: Imagen SPOT PAN más LANDSAT TM de Madrid**

- ◆ **Mapa N° 14: Imagen IRS 1C en pancromático más LISS de Madrid**

- ◆ **Mapa N° 15: Modelo Digital del Terreno de Madrid 20 m.**
- ◆ Mapa N° 16: Mapa *Corine Land Cover* de la Comunidad de Madrid 46 clases.
- ◆ Mapa N° 17: Mapa *Corine Land Cover* de la Comunidad de Madrid 7 clases
- ◆ Mapa N° 18: Urbano 1997
- ◆ Mapa N°19: Imagen LANDSAT TM de la Comunidad de Madrid 31-03-1997
- ◆ Mapa N°20: Imagen LANDSAT TM de la Comunidad de Madrid 22-08-1997
 - ◆ Mapa N° 21: Clasificación no supervisada de Marzo de 1997
- ◆ Mapa N° 22: Clasificación no supervisada de Agosto de 1997
- ◆ Mapa N° 23: Usos del suelo de la Comunidad de Madrid 1997 12 clases.
- ◆ Mapa N° 24: Usos del suelo de la Comunidad de Madrid 1997.
- ◆ Mapa N° 25: Cambios de usos del suelo en la Comunidad de Madrid
- ◆ Mapa N° 26: Buffer de carreteras principales de la Comunidad de Madrid
- ◆ Mapa N° 27: Evolución de usos del suelo en torno a las principales carreteras de la Comunidad de Madrid.
- ◆ Mapa N° 28: Cambios a uso urbano en la Comunidad de Madrid (1987-1997)

- ◆ Mapa N° 29: Cambios a uso urbano en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 30: Cambios a uso secano en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 31: Cambios a uso secano en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 32: Cambios a uso regadío en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 33: Cambios a uso regadío en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 34: Cambios a uso forestal en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 35: Cambios a uso forestal en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 36: Cambios a uso vegetación natural en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N°37: Cambios a uso vegetación natural en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N°38: Cambios a uso espacios abiertos en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 39: Cambios a uso espacios abiertos en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 40: Cambios a uso agua en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 41: Cambios a uso agua en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N°42: Cambios de uso urbano en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 43: Cambios de uso urbano en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 44: Cambios de uso secano en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 45: Cambios de uso secano en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 46: Cambios de uso regadío en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 47: Cambios de uso regadío en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 48: Cambios de uso forestal en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 49: Cambios de uso forestal en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 50: Cambios de uso vegetación natural en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 51: Cambios de uso vegetación natural en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 52: Cambios de uso espacios abiertos en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 53: Cambios de uso espacios abiertos en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 54: Cambios de uso agua en la Comunidad de Madrid (1987-1997)
- ◆ Mapa N° 55: Cambios de uso agua en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Mapa N°56:Tasa de urbanización de los municipios de la Comunidad de Madrid
- ◆ Mapa N° 57: Coronas de 3km de distancia en la Comunidad de Madrid
- ◆ Mapa N° 58: Isolíneas de Coronas de 3km de distancia en la Comunidad de Madrid
- ◆ Mapa N° 59: Usos del suelo Corona 1
- ◆ Mapa N° 60: Usos del suelo Corona 2
- ◆ Mapa N° 61: Usos del suelo Corona 3
- ◆ Mapa N° 62: Usos del suelo Corona 4
- ◆ Mapa N° 63: Usos del suelo Corona 5
- ◆ Mapa N° 64: Usos del suelo Corona 6

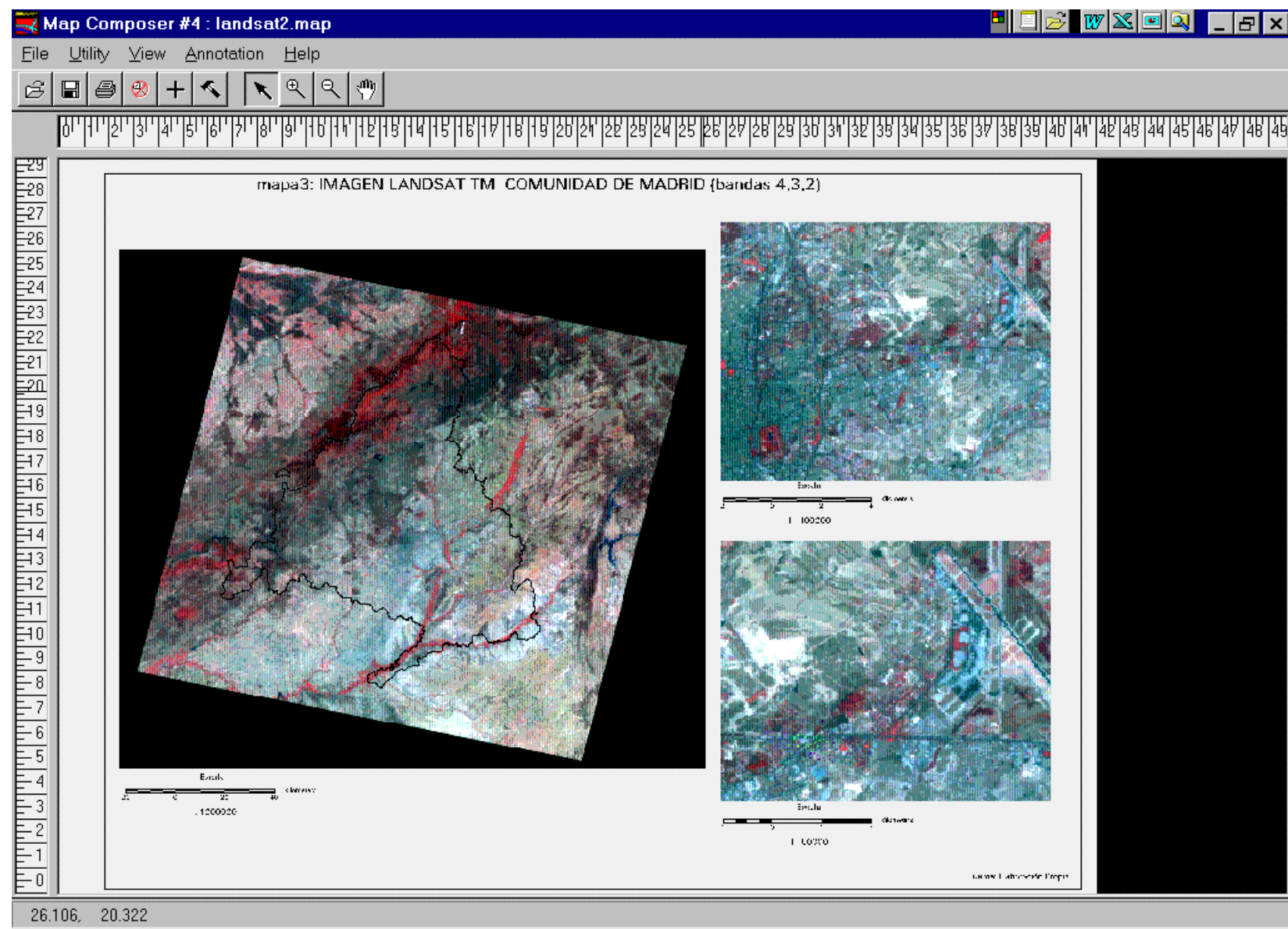
- ◆ Mapa N° 65: Usos del suelo Corona 7
- ◆ Mapa N° 66: Usos del suelo Corona 8
- ◆ Mapa N° 67: Usos del suelo Corona 9
- ◆ Mapa N° 68: Usos del suelo Corona 10
- ◆ Mapa N° 69: Usos del suelo Corona 11
- ◆ Mapa N° 70: Usos del suelo Corona 12
- ◆ Mapa N° 71: Usos del suelo Corona 13
- ◆ Mapa N° 72: Usos del suelo Corona 14
- ◆ Mapa N° 73: Usos del suelo Corona 15
- ◆ Mapa N° 74: Usos del suelo Corona 16
- ◆ Mapa N° 75: Usos del suelo Corona 17
- ◆ Mapa N° 76: Usos del suelo Corona 18
- ◆ Mapa N° 77: Usos del suelo Corona 19
- ◆ Mapa N° 78: Usos del suelo Corona 20
- ◆ Mapa N° 79: Usos del suelo Corona 21
- ◆ Mapa N° 80: Usos del suelo Corona 22
- ◆ Mapa N° 81: Usos del suelo Corona 23
- ◆ Mapa N° 82: Usos del suelo Corona 24
- ◆ Mapa N° 83: Usos del suelo Corona 25
- ◆ Mapa N° 84: Usos del suelo Corona 26
- ◆ Mapa N° 85: Usos del suelo Corona 27
- ◆ Mapa N° 86: Usos del suelo Corona 28
- ◆ Mapa N° 87: Usos del suelo Corona 29
- ◆ Mapa N° 88-1 y 2: Cambios de usos del suelo ponderados en la carretera de Burgos
- ◆ Mapa N° 89-1y 2: Cambios de usos del suelo ponderados en la carretera de Barcelona.
- ◆ Mapa N° 90-1 y-2: Cambios de usos del suelo ponderados en la carretera de Valencia.
- ◆ Mapa N° 91-1 y 2: Cambios de usos del suelo ponderados en la carretera de Andalucía.
- ◆ Mapa N° 92-1 y 2: Cambios de usos del suelo ponderados en la carretera de Extremadura.
- ◆ Mapa N° 93-1 y 2: Cambios de usos del suelo ponderados en la carretera de La Coruña.
- ◆ Mapa N° 94: Cambios de usos del suelo ponderados por coronas en las carreteras 1
- ◆ Mapa N° 95: Cambios de usos del suelo ponderados por coronas en las carreteras 2
- ◆ Mapa N° 96-1 y 2: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Burgos
- ◆ Mapa N° 97-1 y 2: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Barcelona.
- ◆ Mapa N° 98-1 y 2: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Valencia.
- ◆ Mapa N° 99-1 y 2: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Andalucía.

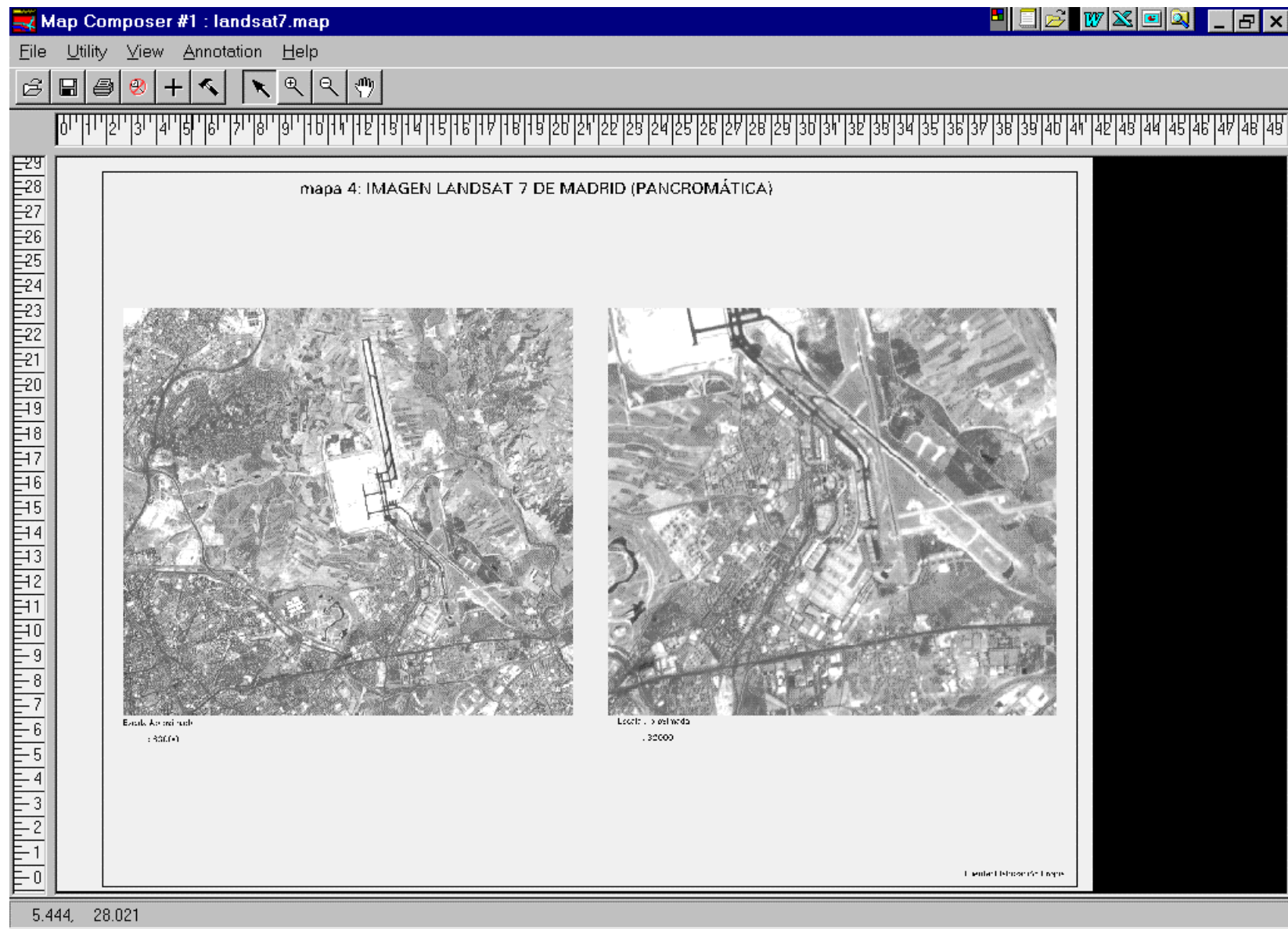
- ◆ Mapa N° 100-1 y 2: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Extremadura.
- ◆ Mapa N° 101-1 y 2: Cambios a urbano ponderados en la carretera de La Coruña.
- ◆ Mapa N°102: Cambios a urbano ponderados por coronas en las carreteras1
- ◆ Mapa N°103:Cambios a urbano ponderados por coronas en las carreteras 2
- ◆ Mapa N°104:Modelo de desarrollo urbano de Madrid (1987-1997)

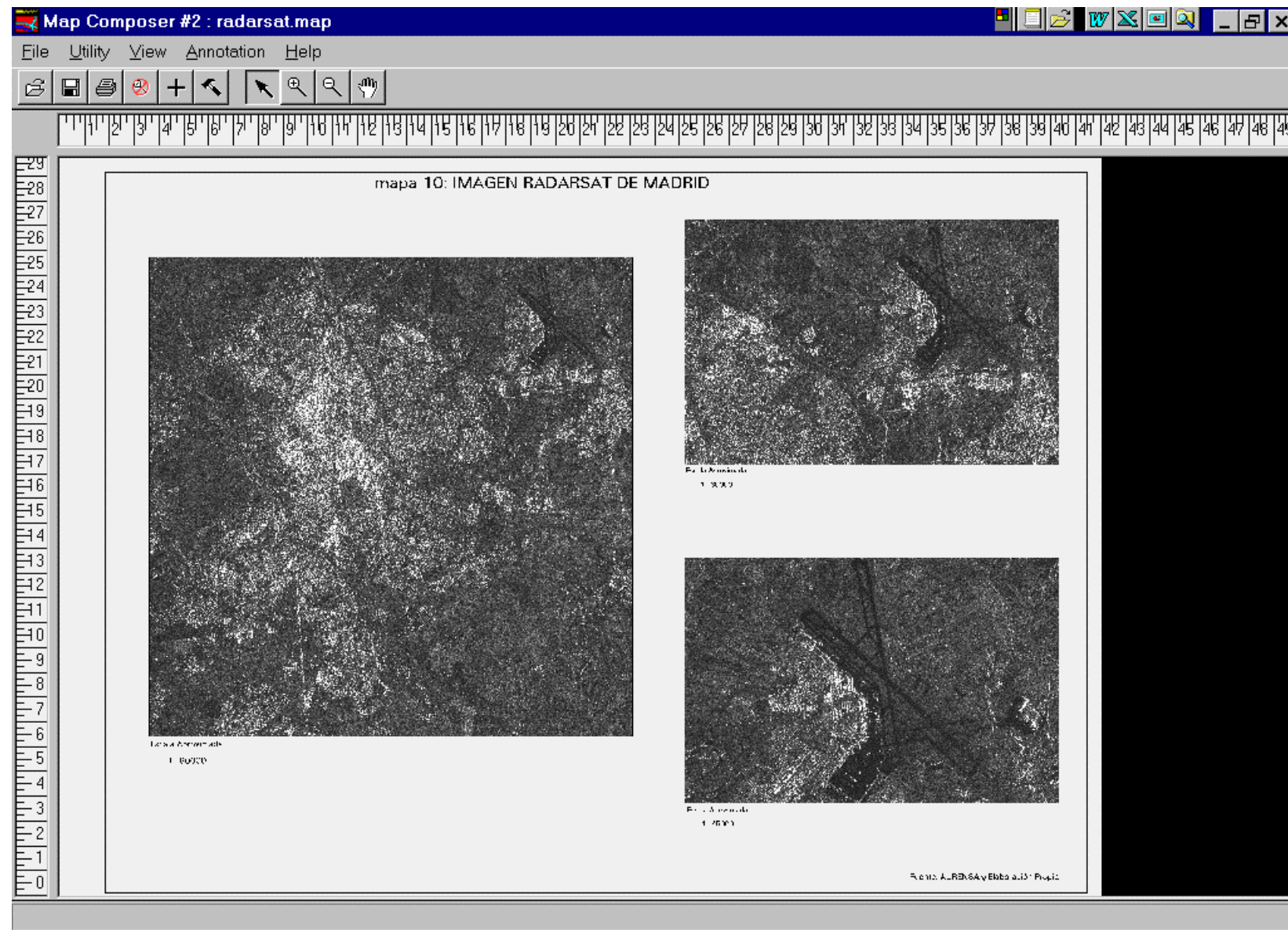
ANEXOS

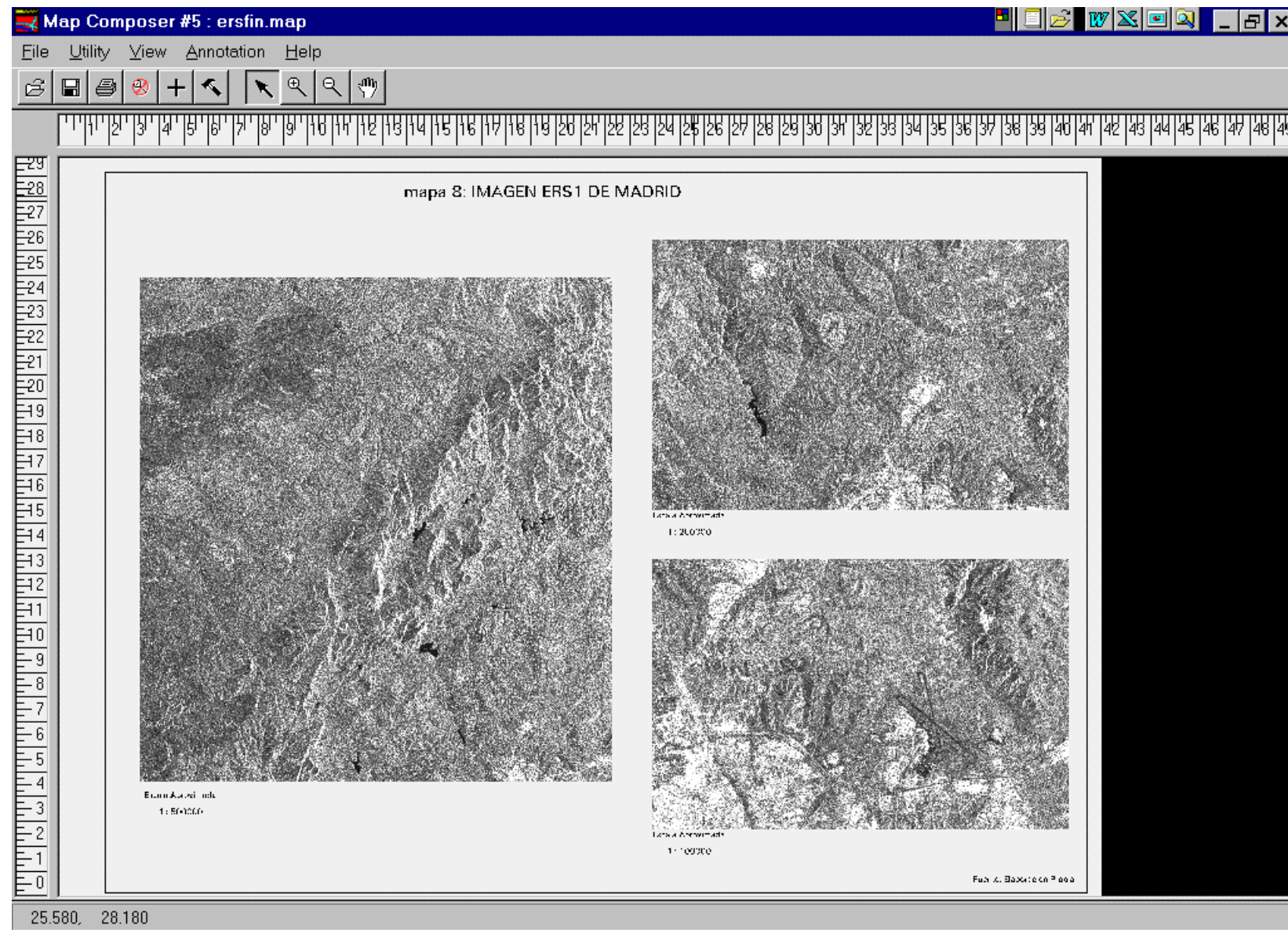
- ◆ Anexo 1: Evolución de usos del suelo en la carretera de Burgos 1987-1997
- ◆ Anexo 2: Evolución de usos del suelo en la carretera de Barcelona 1987-1997
- ◆ Anexo 3: Evolución de usos del suelo en la carretera de Valencia 1987-1997
- ◆ Anexo 4: Evolución de usos del suelo en la carretera de Andalucía 1987-1997
- ◆ Anexo 5: Evolución de usos del suelo en la carretera de Extremadura 1987-1997
- ◆ Anexo 6: Evolución de usos del suelo en la carretera de La Coruña 1987-1997

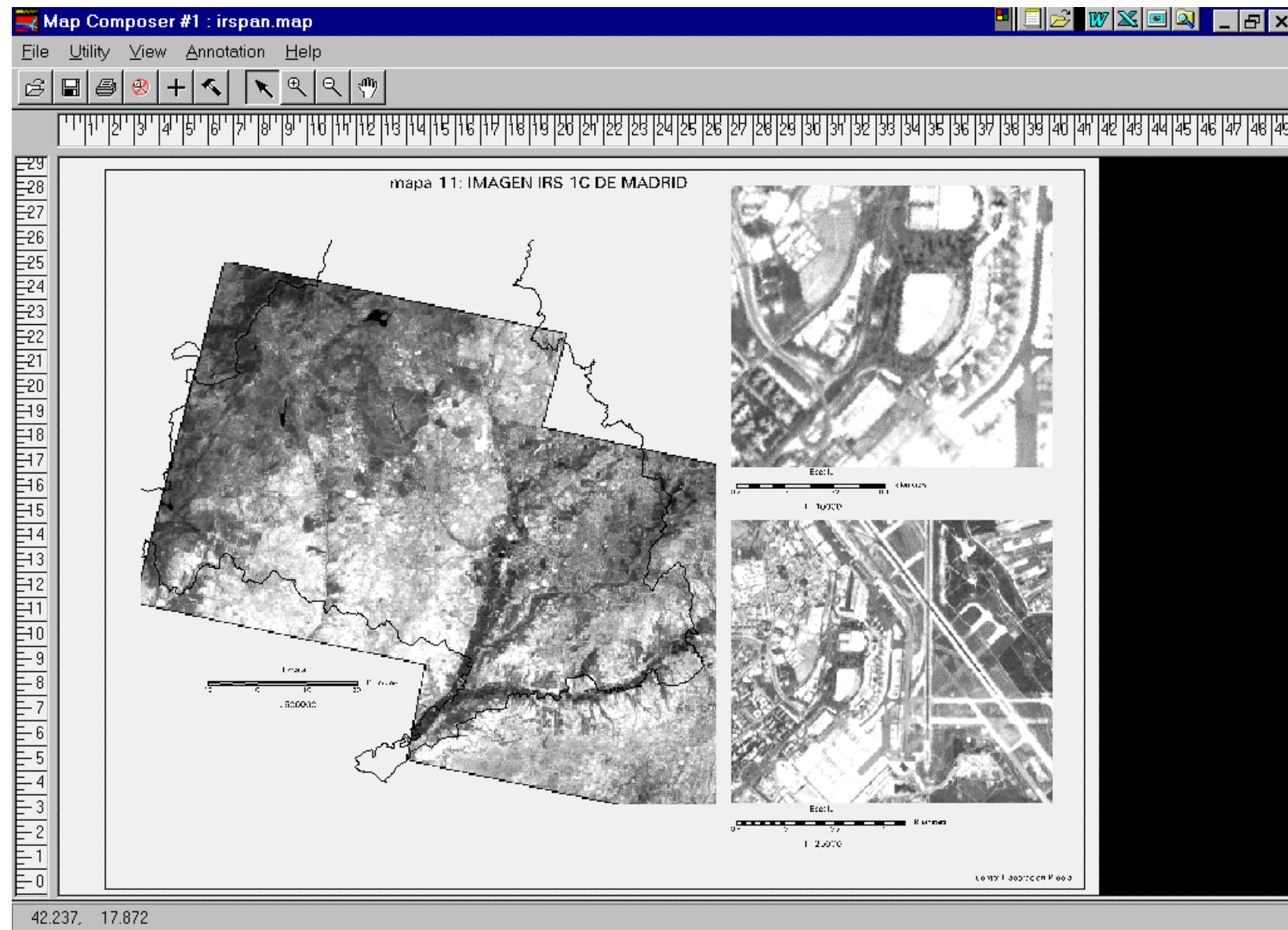
- ◆ Anexo 7: Cambios de usos del suelo en las carreteras (1987-1997)
- ◆ Anexo 8: Procedencia de los cambios 1.
- ◆ Anexo 9 Procedencia de Cambios 2.
- ◆ Anexo 9-1: Procedencia de Cambios 2
- ◆ Anexo 9-2: Procedencia de Cambios 2
- ◆ Anexo 9-3: Procedencia de Cambios 2
- ◆ Anexo 9-4: Procedencia de Cambios 2
- ◆ Anexo 9-5: Procedencia de Cambios 2
- ◆ Anexo 9-6: Procedencia de Cambios 2
- ◆ Anexo 9-7: Procedencia de Cambios 2
- ◆ Anexo 10: Procedencia de los cambios 3
- ◆ Anexo 11: Cambios por coronas
- ◆ Anexo 12: Evolución usos del suelo por coronas en la carretera de Burgos
- ◆ Anexo 13: Evolución usos del suelo por coronas en la carretera de Barcelona
- ◆ Anexo 14: Evolución usos del suelo por coronas en la carretera de Valencia
- ◆ Anexo 15: Evolución usos del suelo por coronas en la carretera de Andalucía.
- ◆ Anexo 16: Evolución usos del suelo por coronas en la carretera de Extremadura
- ◆ Anexo 17: Evolución usos del suelo por coronas en la carretera de La Coruña.
- ◆ Anexo 18: Cambios ponderados en la carretera de Burgos.
- ◆ Anexo 19: Cambios ponderados en la carretera de Barcelona.
- ◆ Anexo 20: Cambios ponderados en la carretera de Valencia
- ◆ Anexo 21: Cambios ponderados en la carretera de. Andalucía
- ◆ Anexo 22: Cambios ponderados en la carretera de Extremadura
- ◆ Anexo 23: Cambios ponderados en la carretera de La Coruña.
- ◆ Anexo 24: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Burgos.
- ◆ Anexo 25: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Barcelona.
- ◆ Anexo 26: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Valencia
- ◆ Anexo 27: Cambios a urbano ponderados en la carretera de. Andalucía
- ◆ Anexo 28: Cambios a urbano ponderados en la carretera de Extremadura
- ◆ Anexo 29: Cambios a urbano ponderados en la carretera de La Coruña.

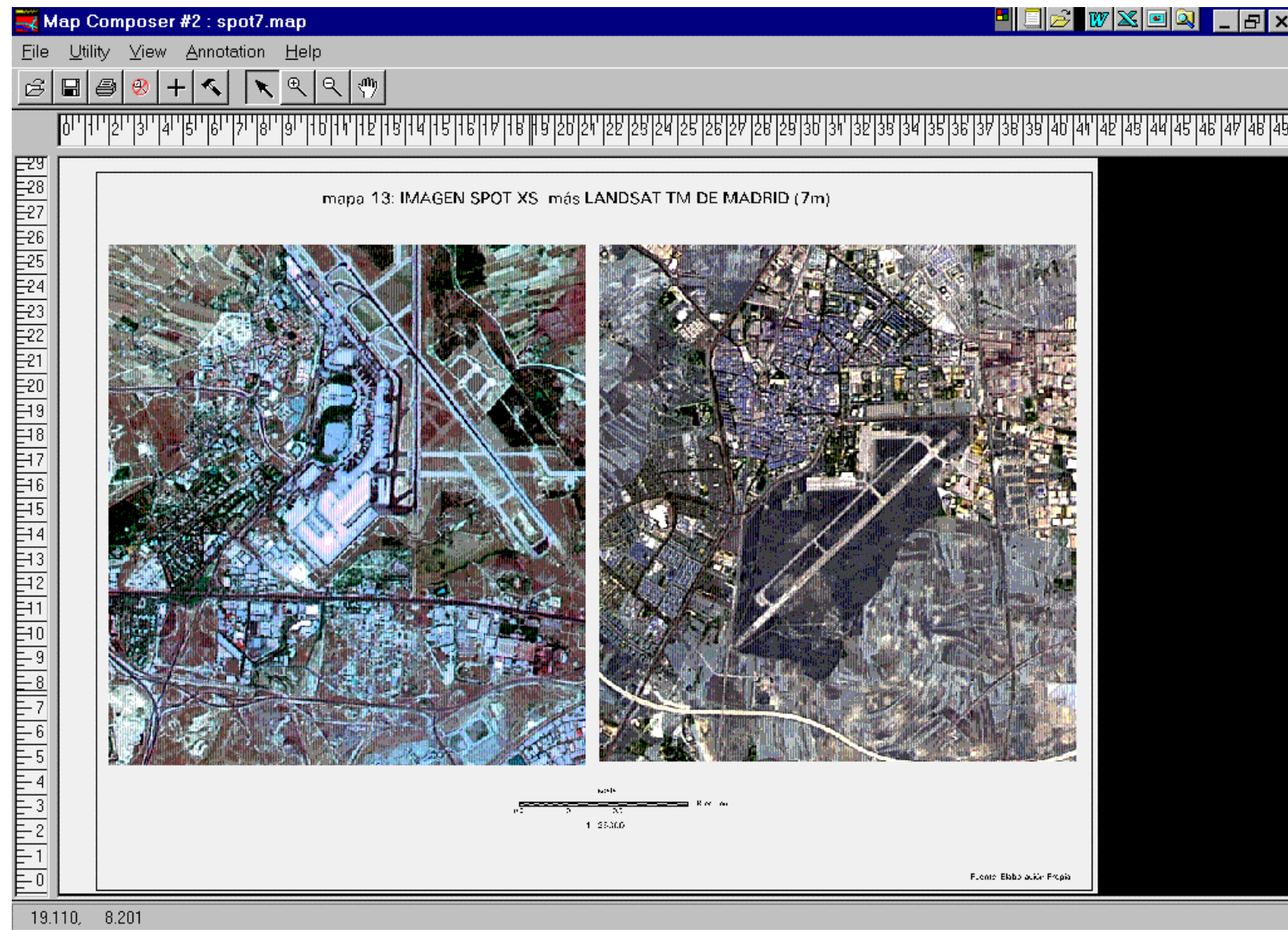


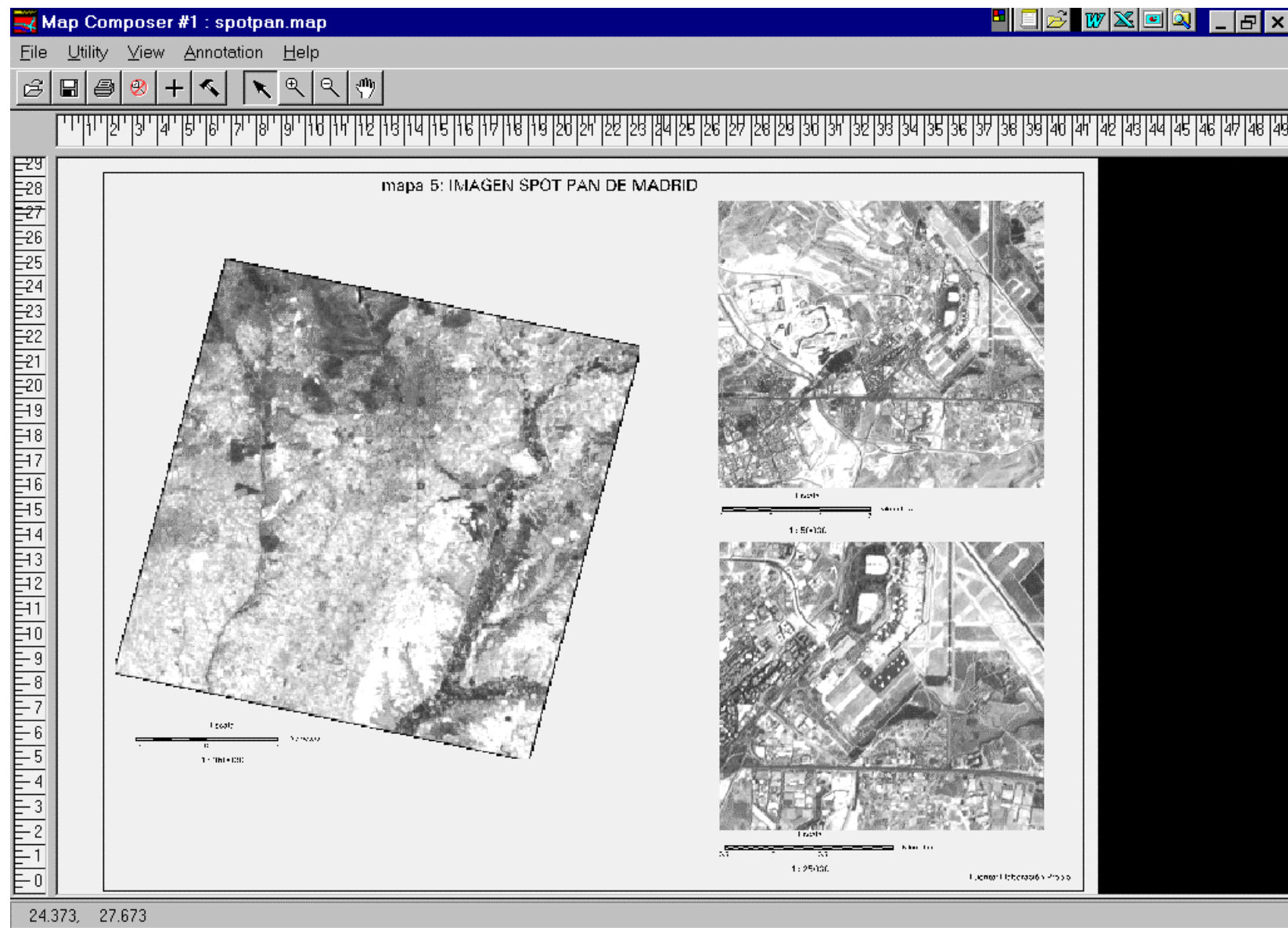


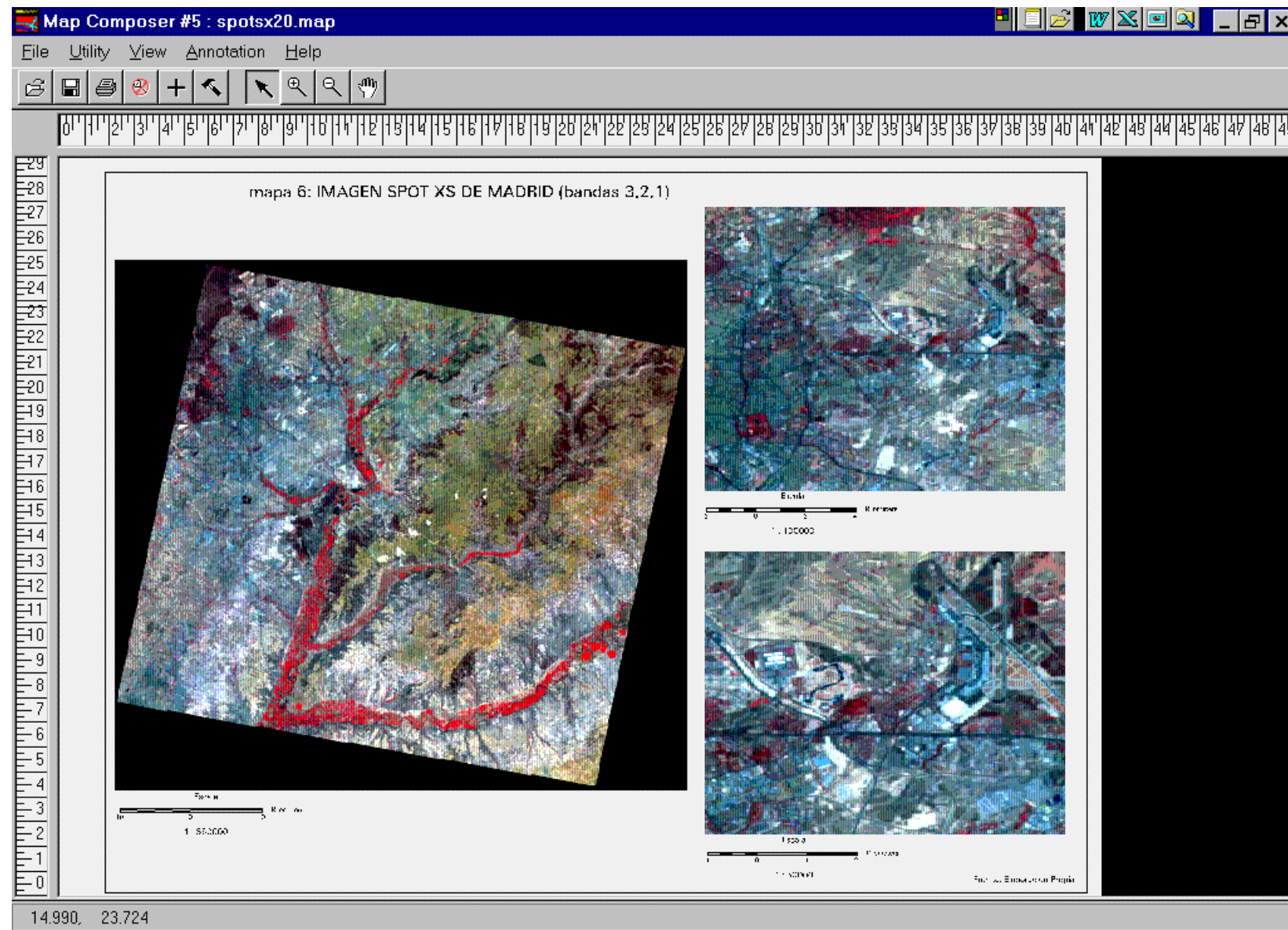


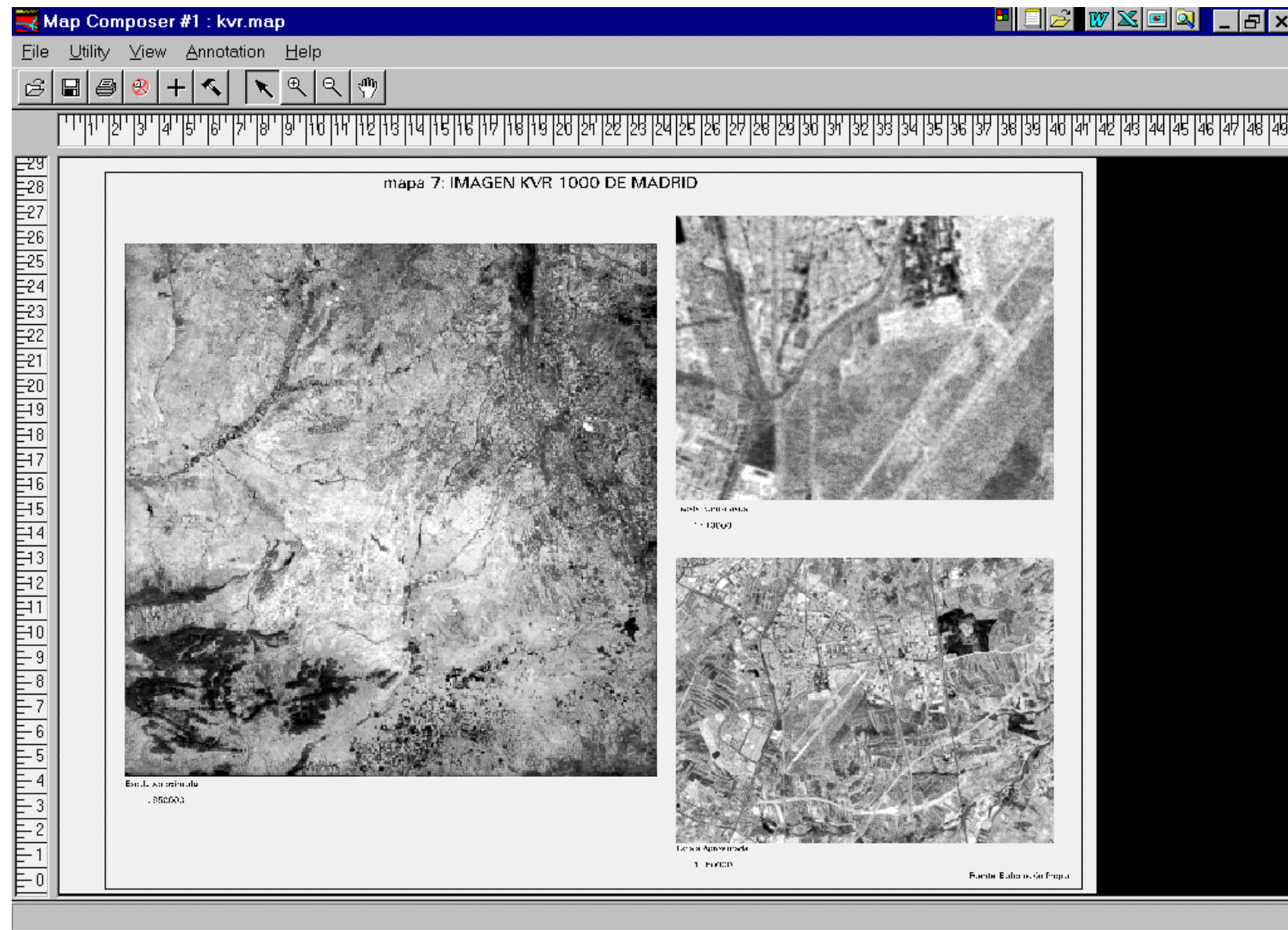


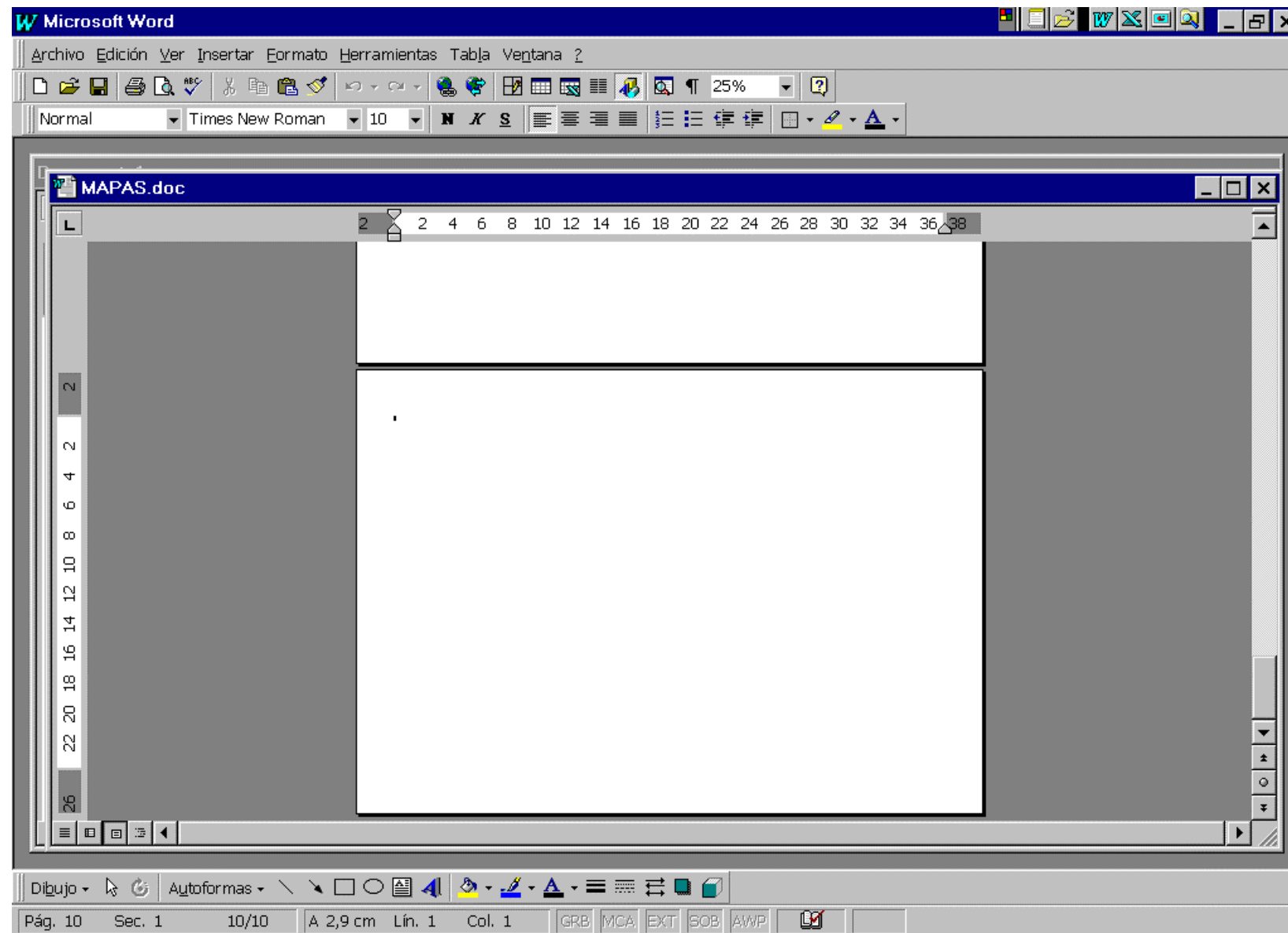




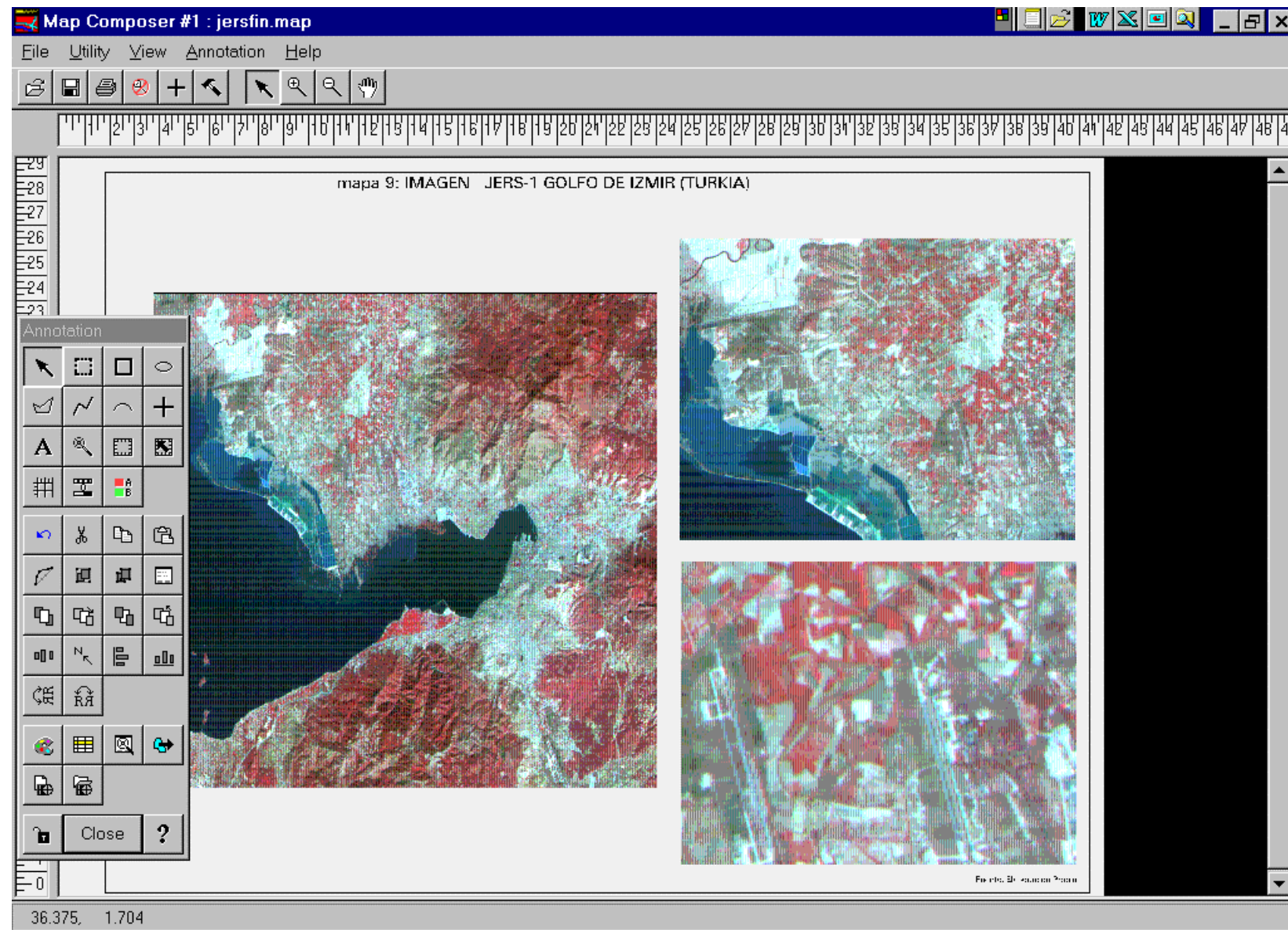


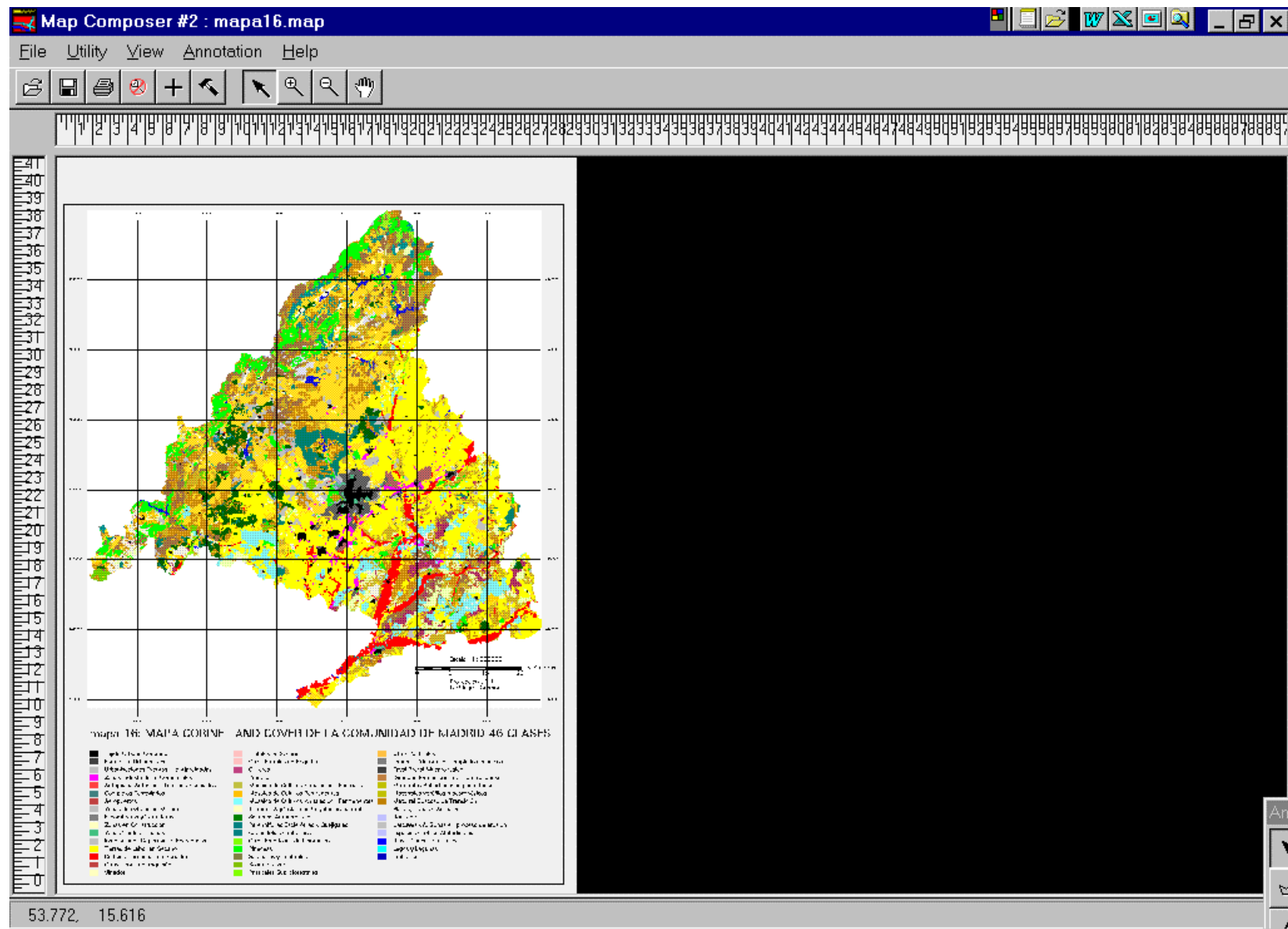


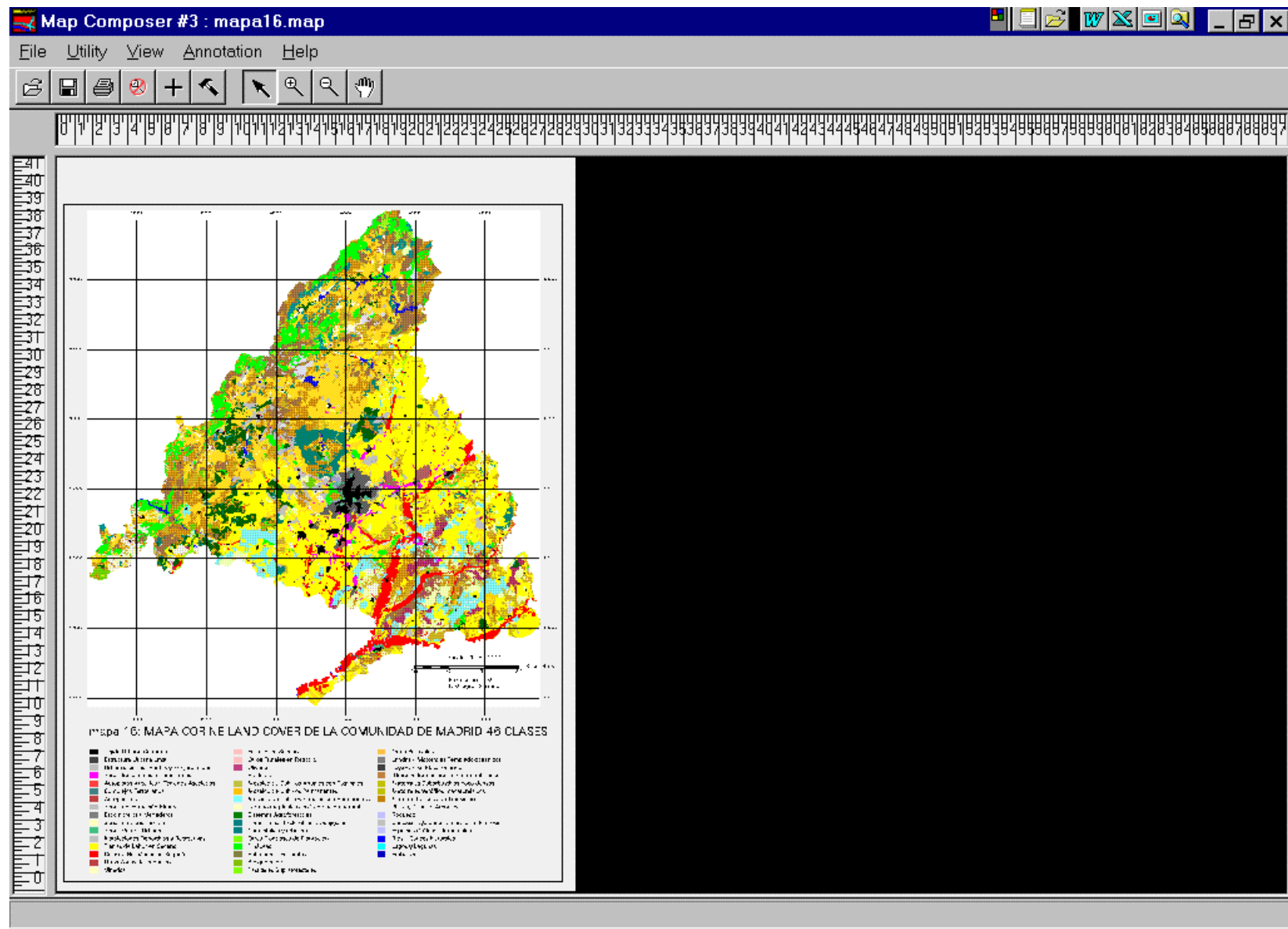


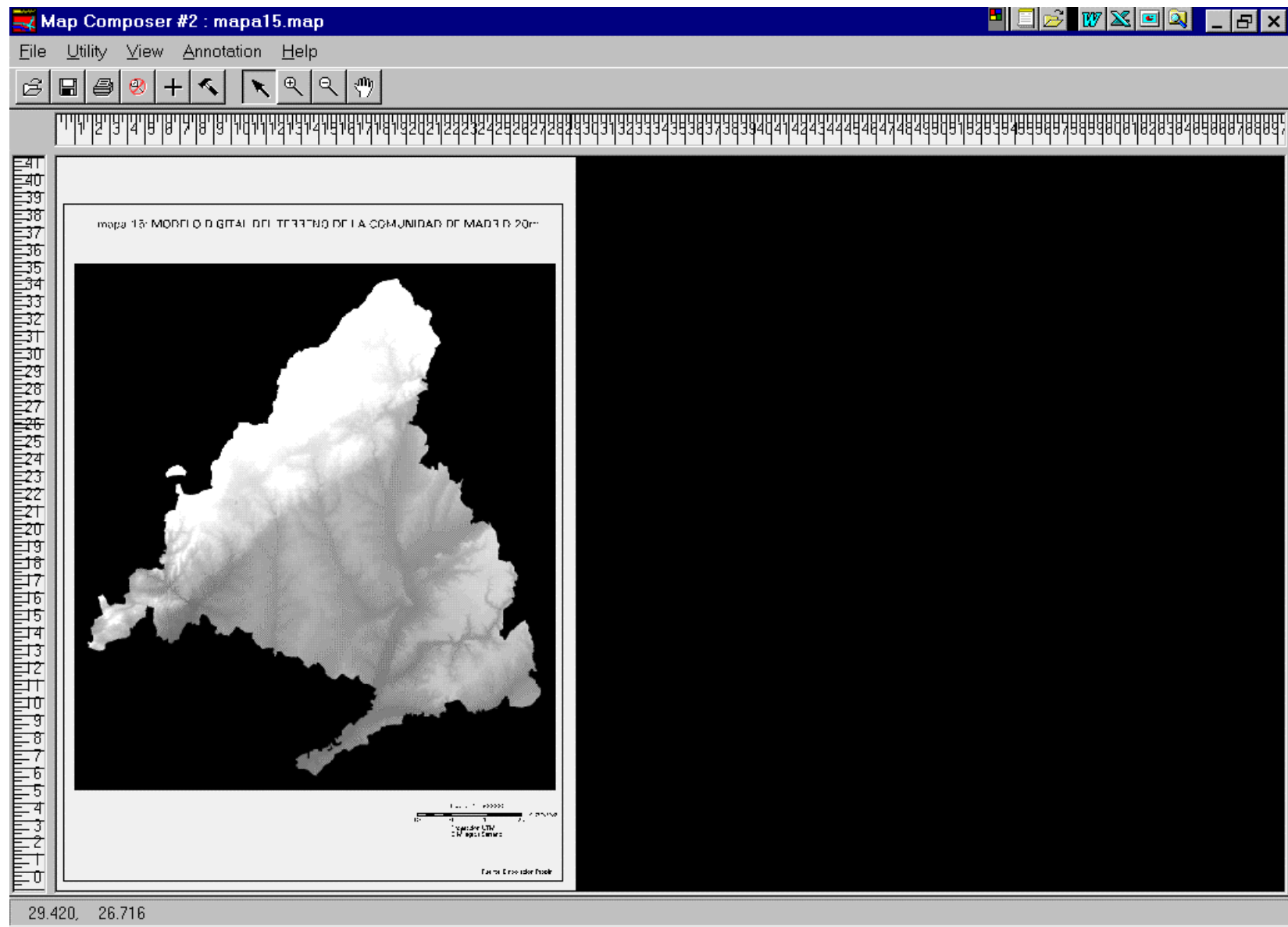


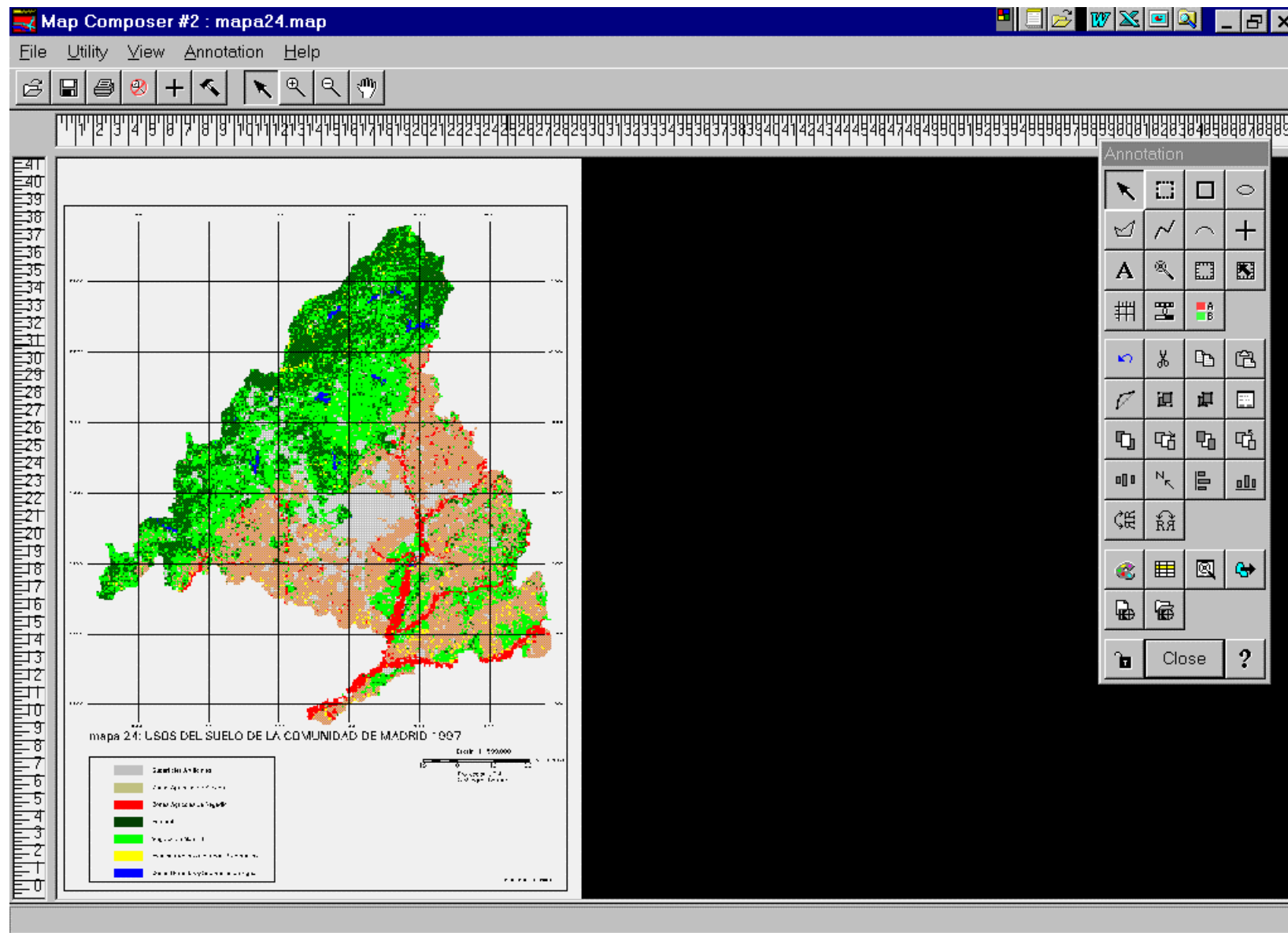


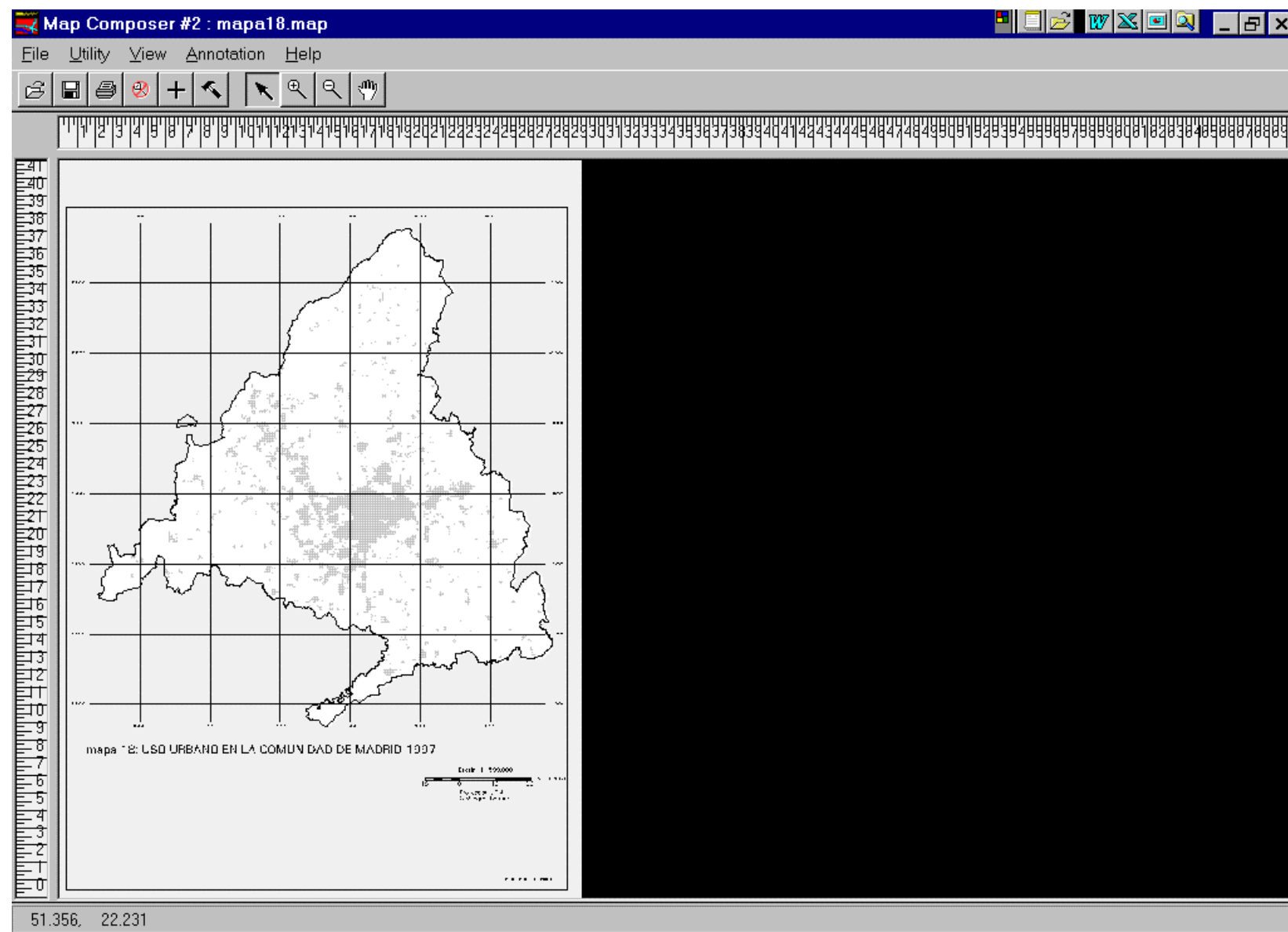


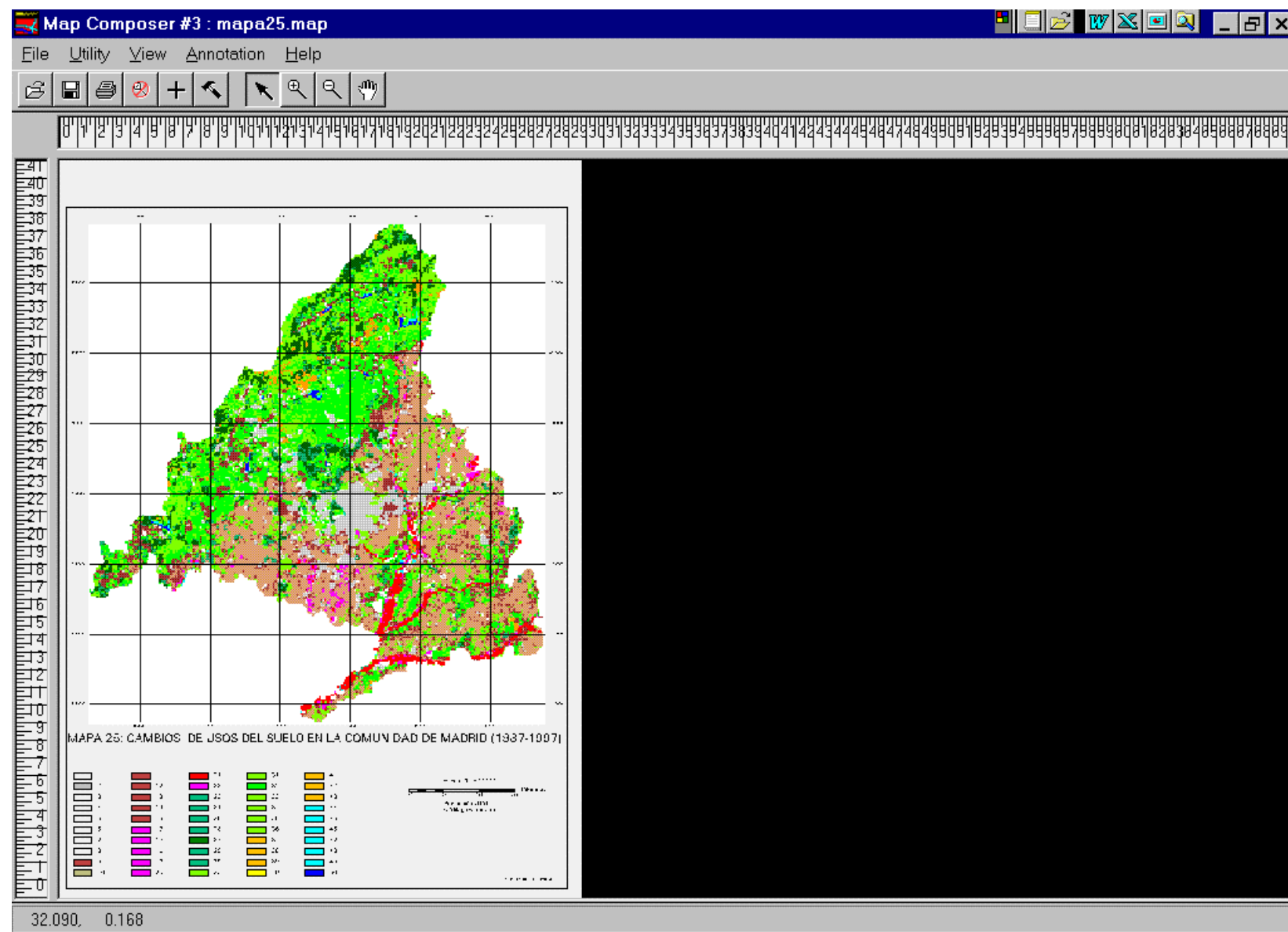


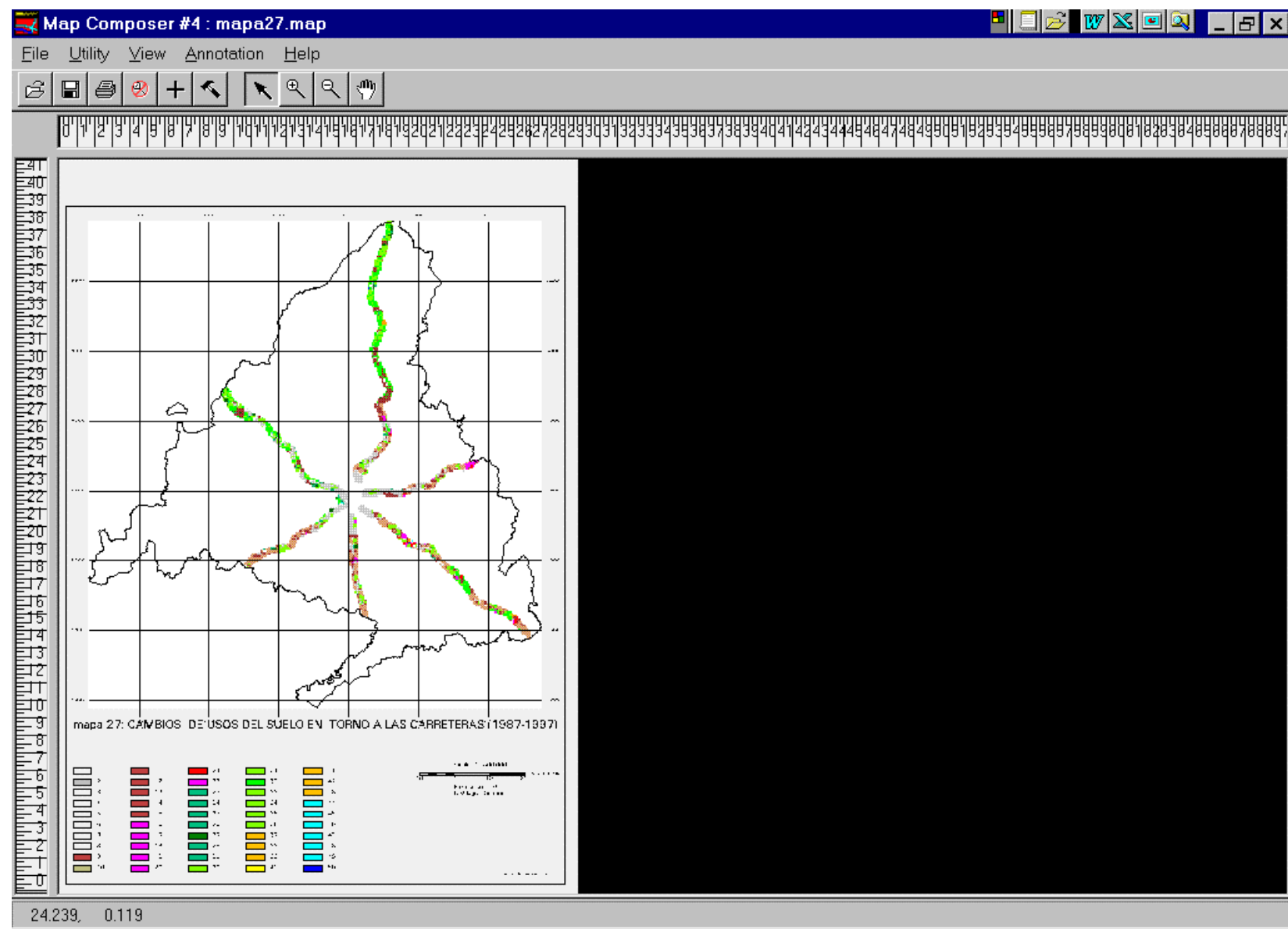


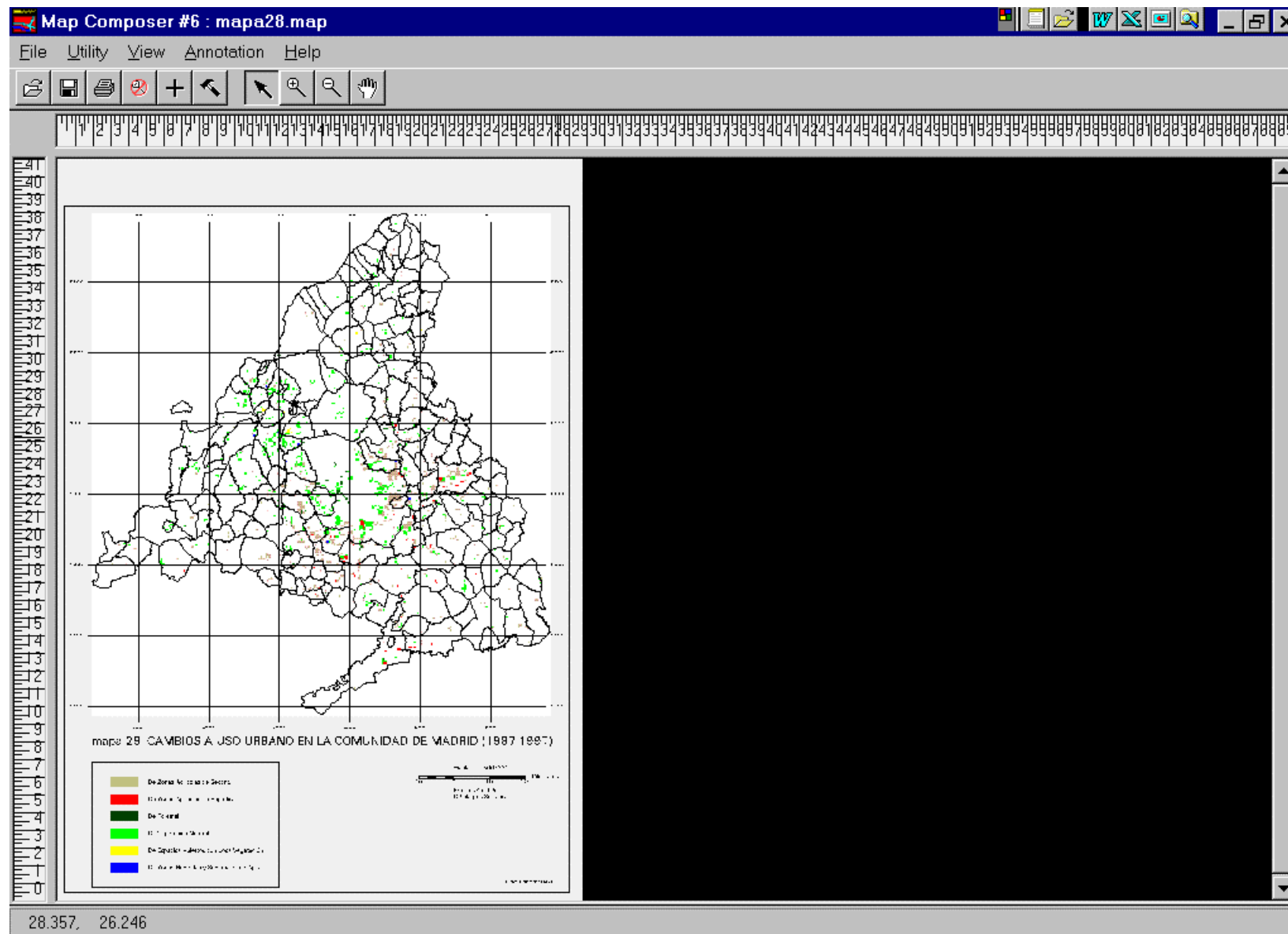


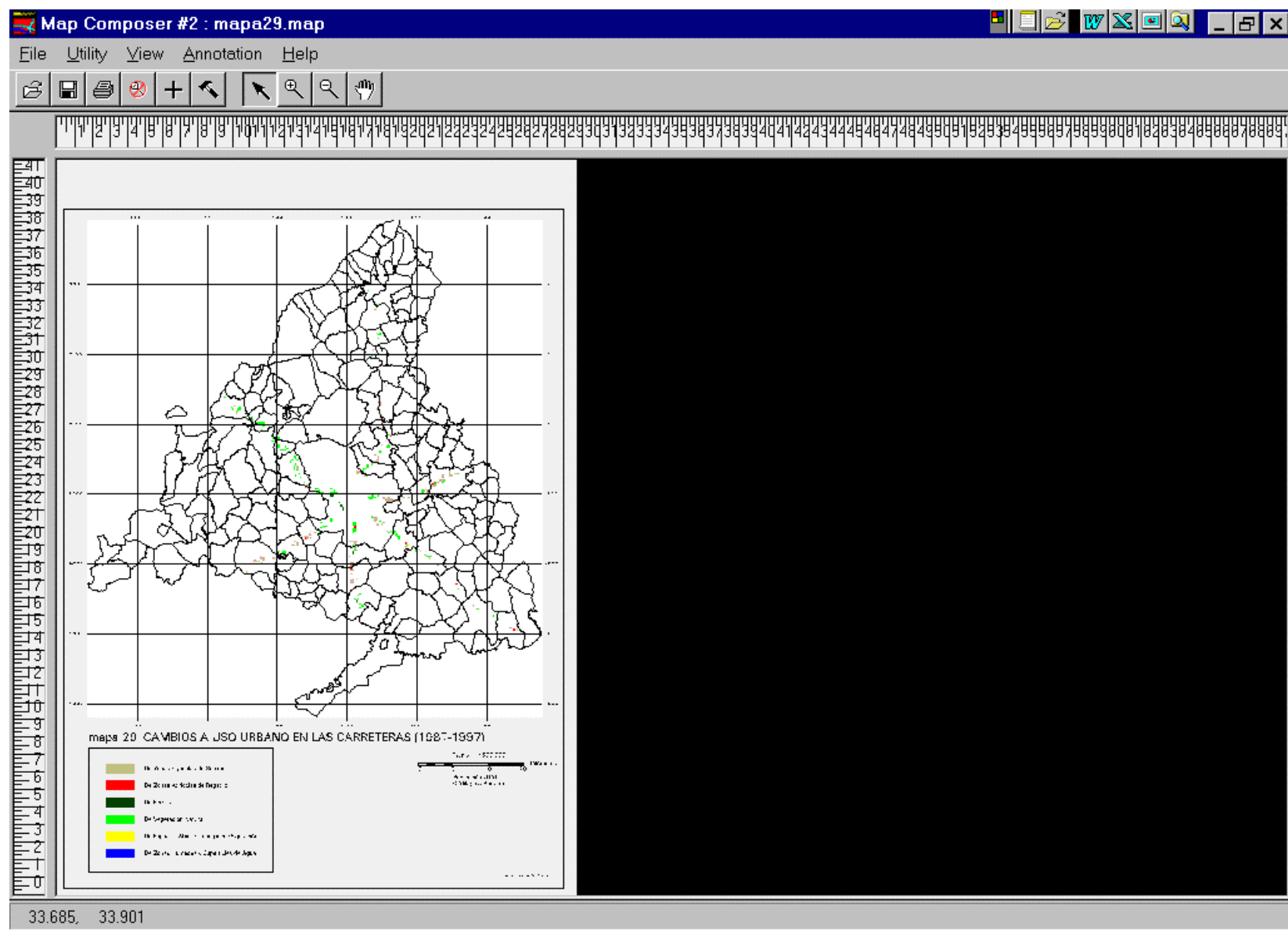


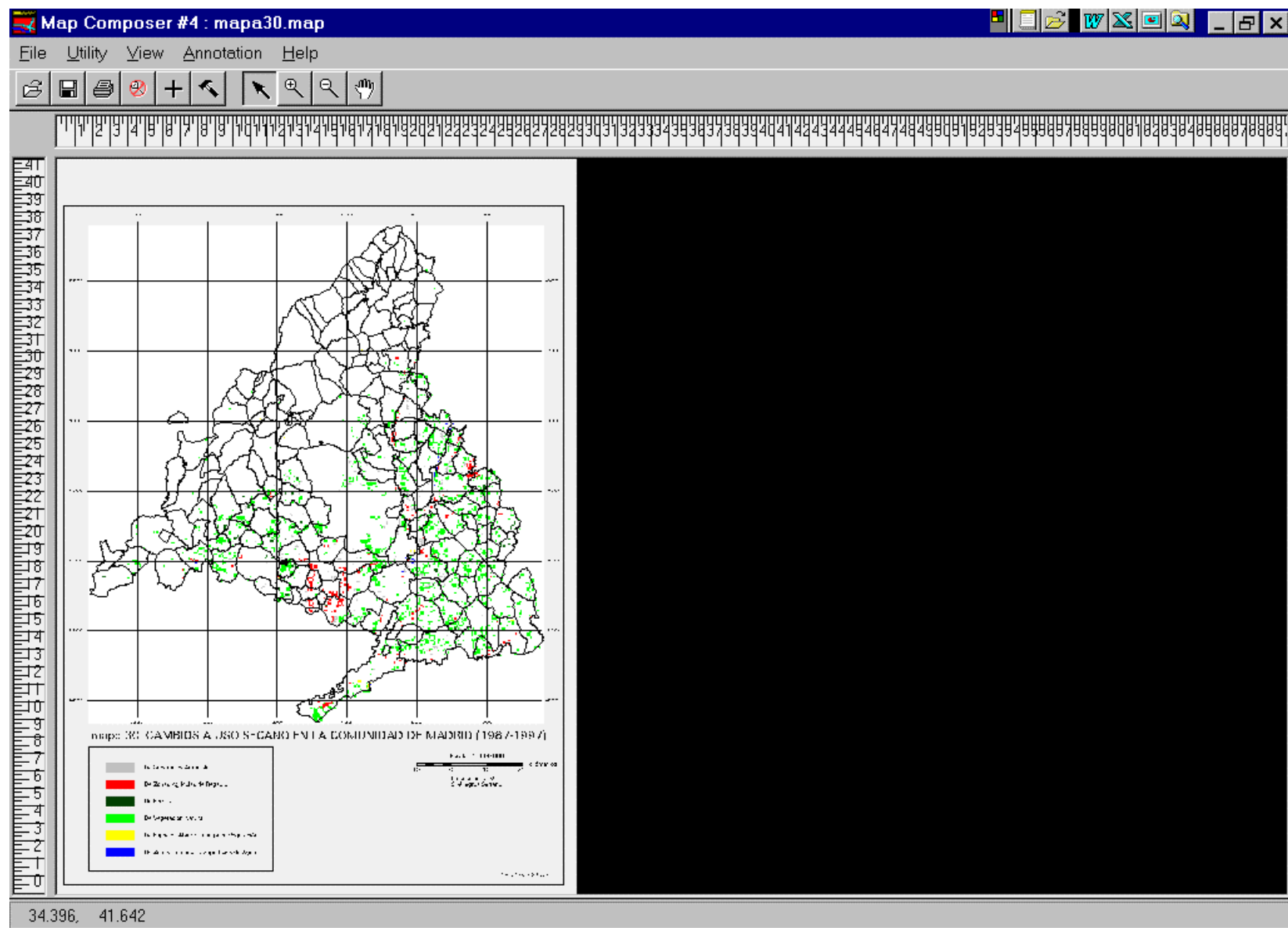


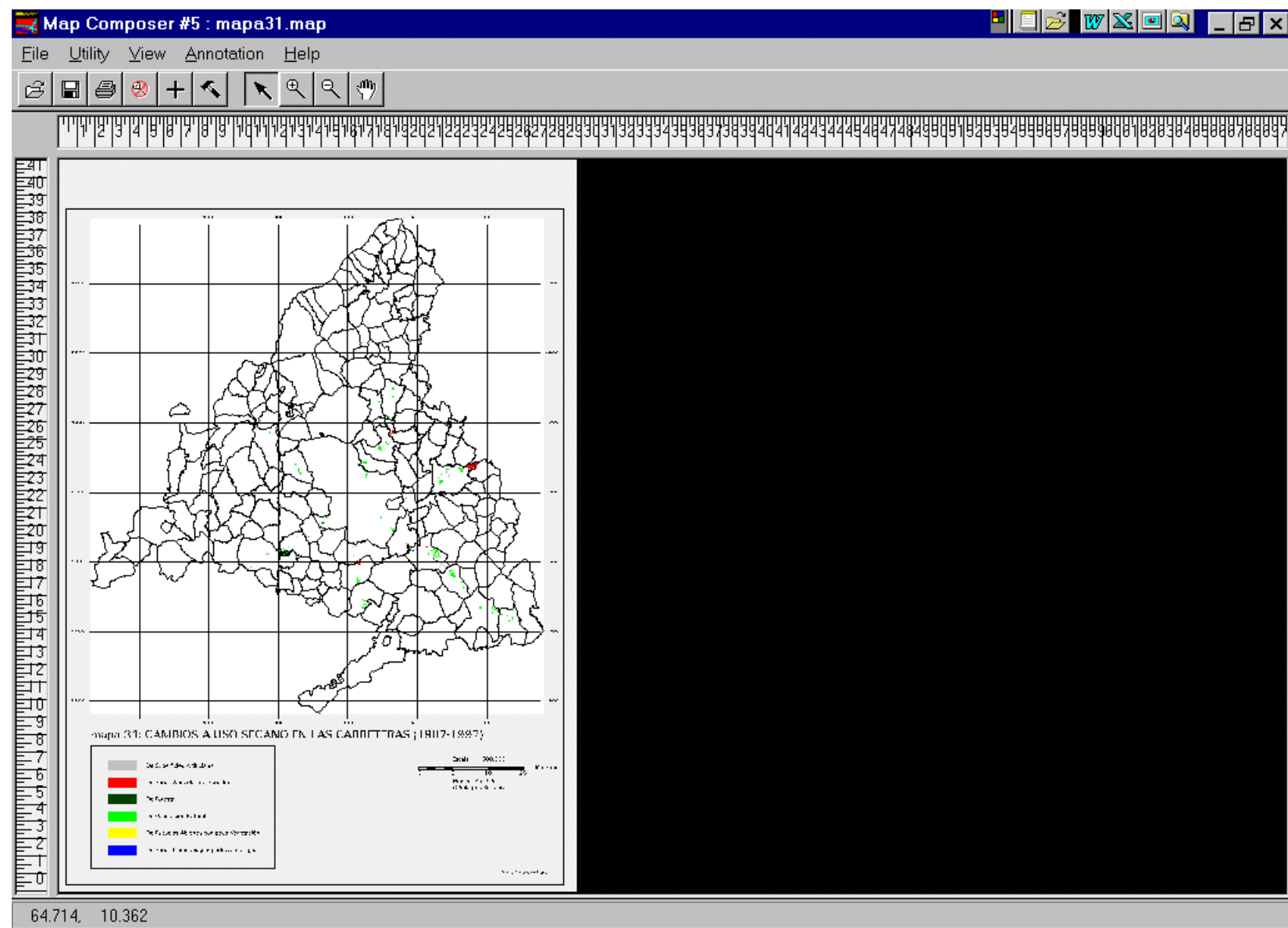


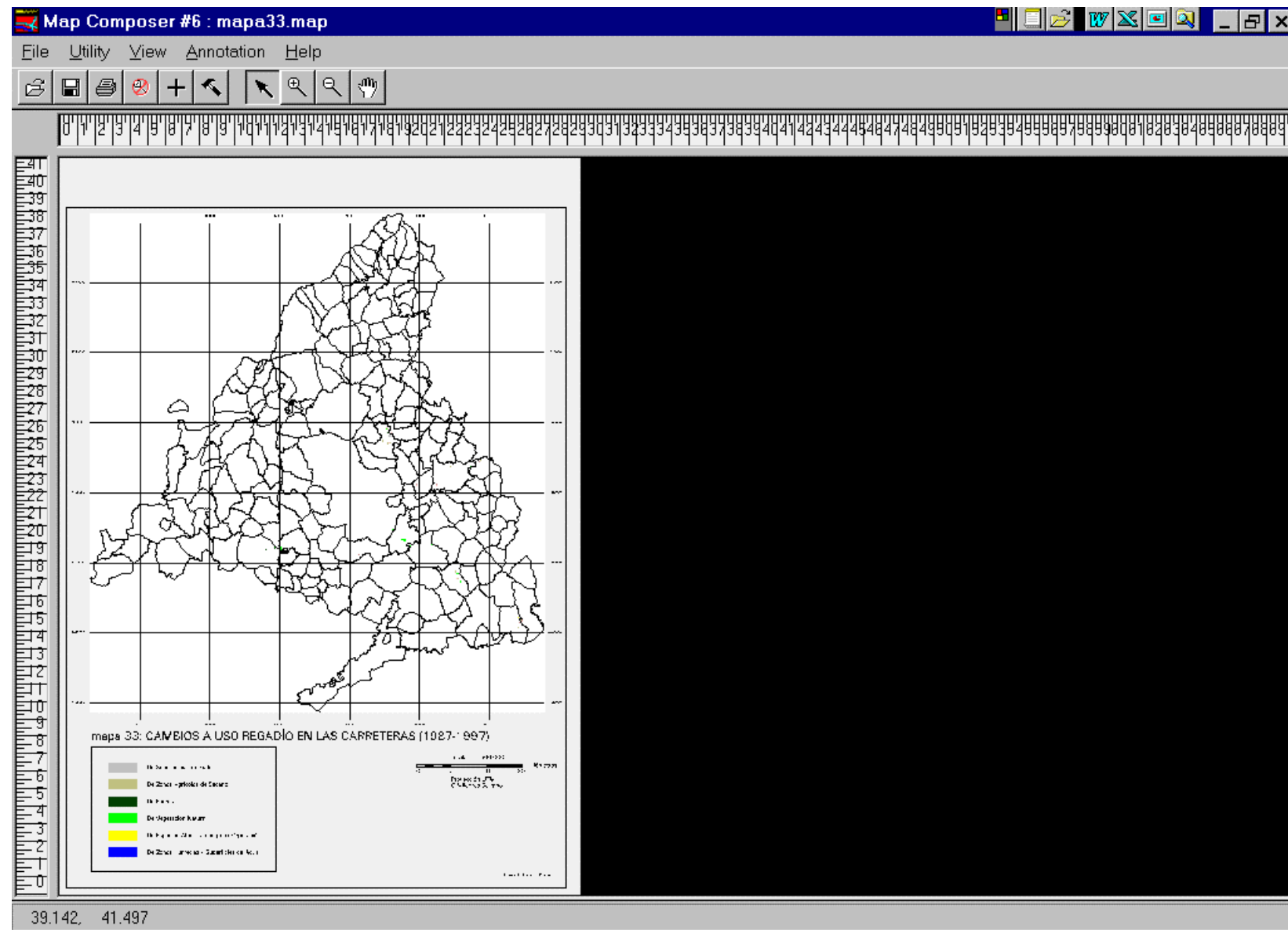


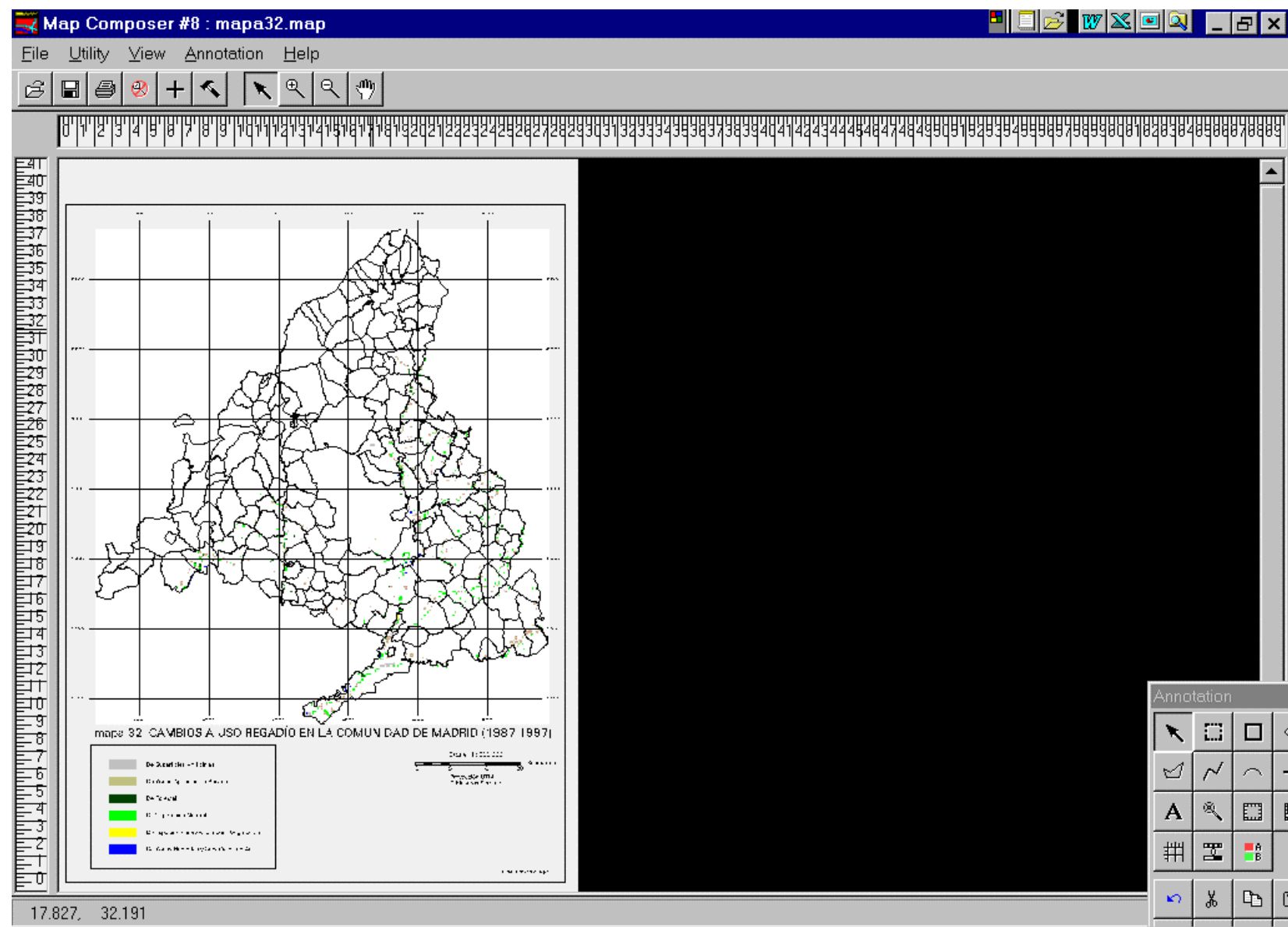


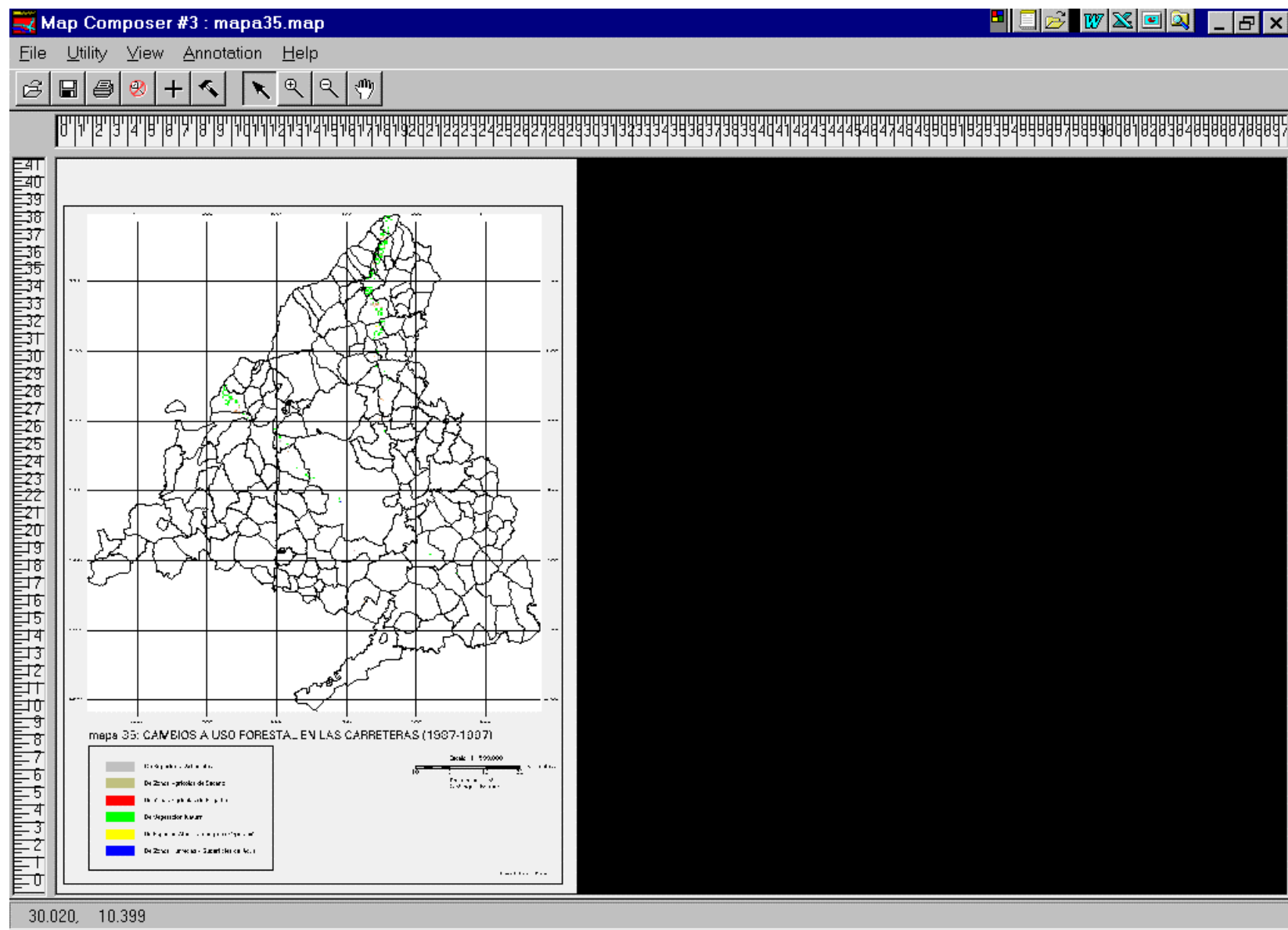


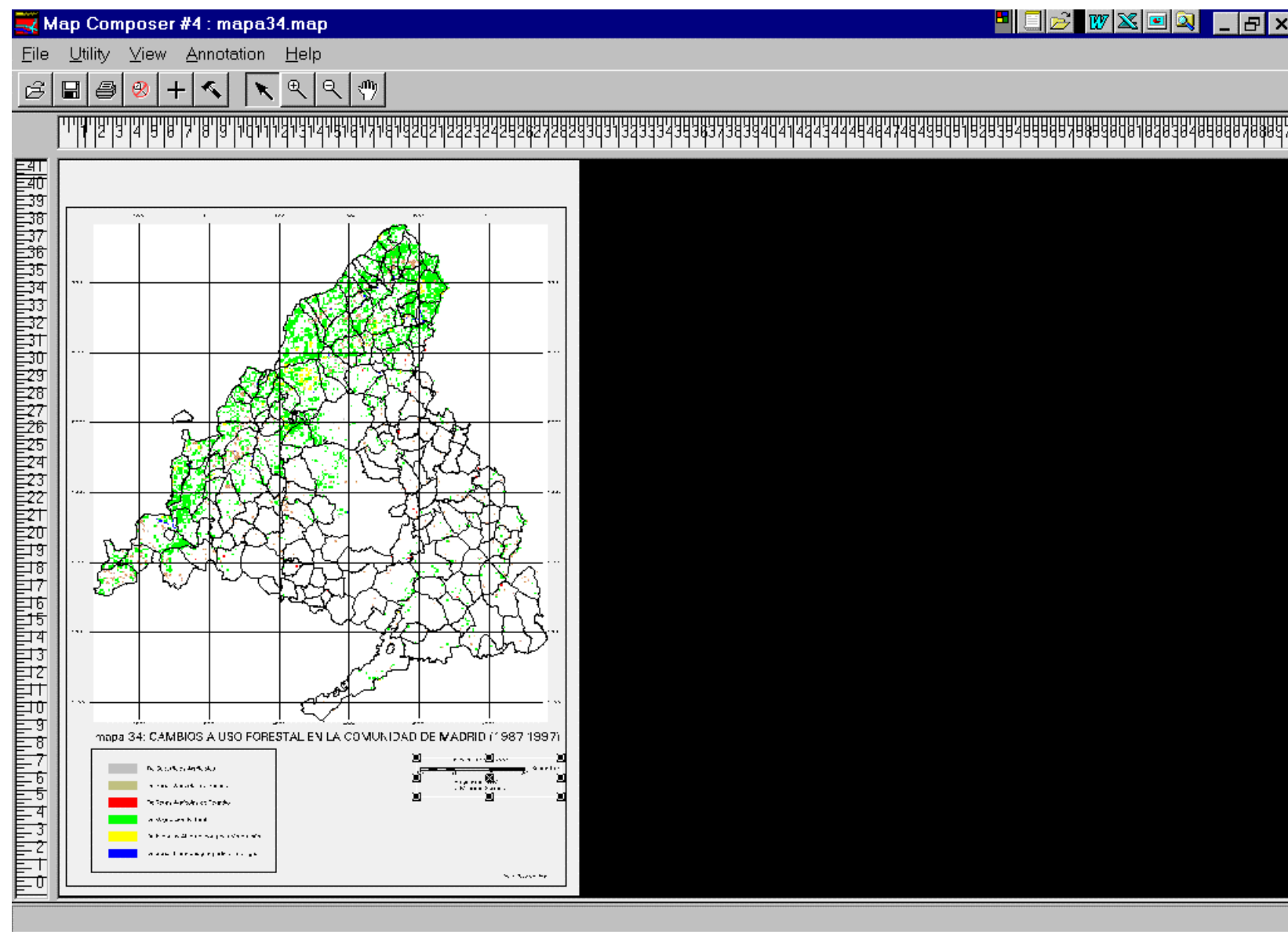


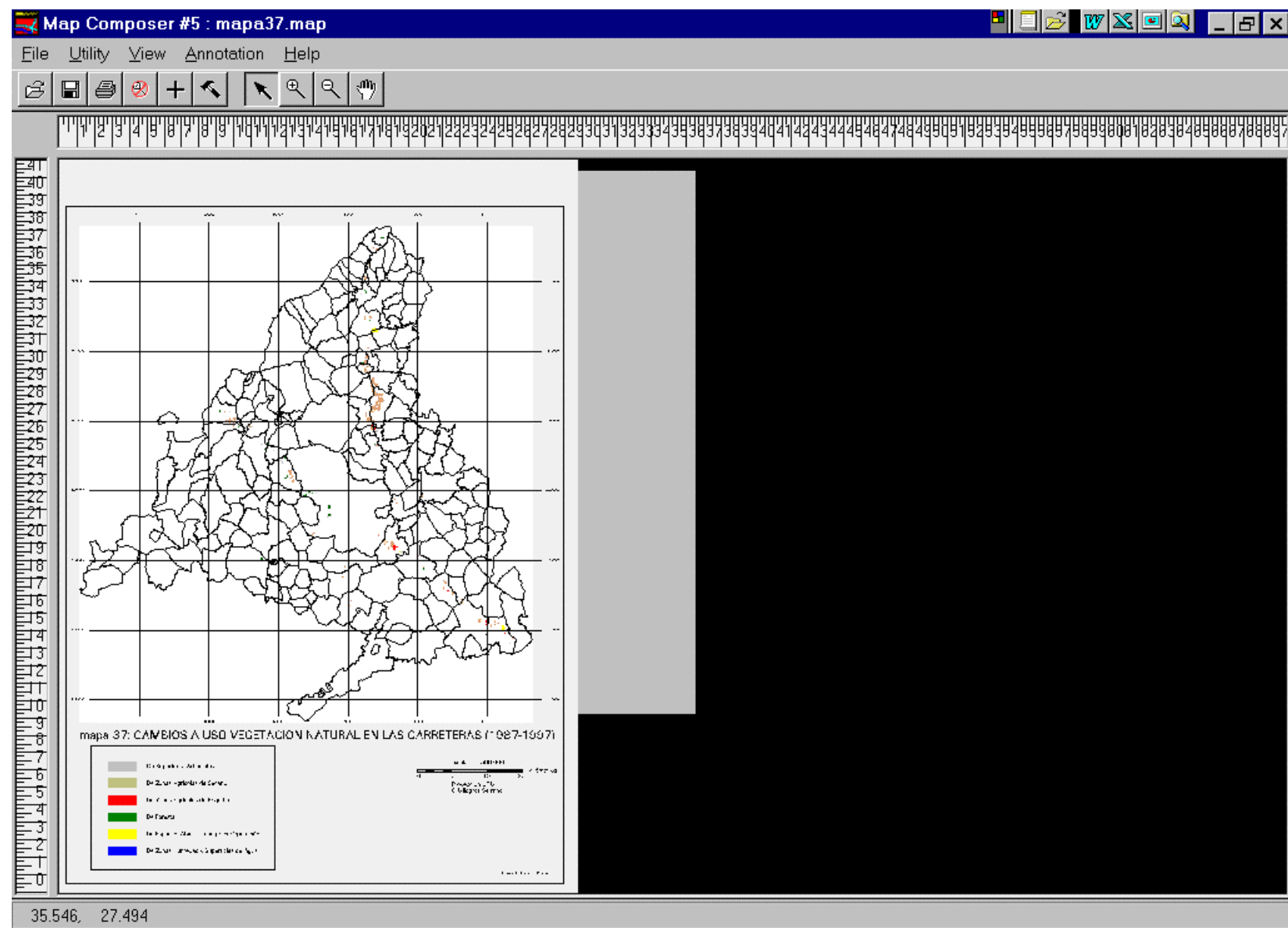


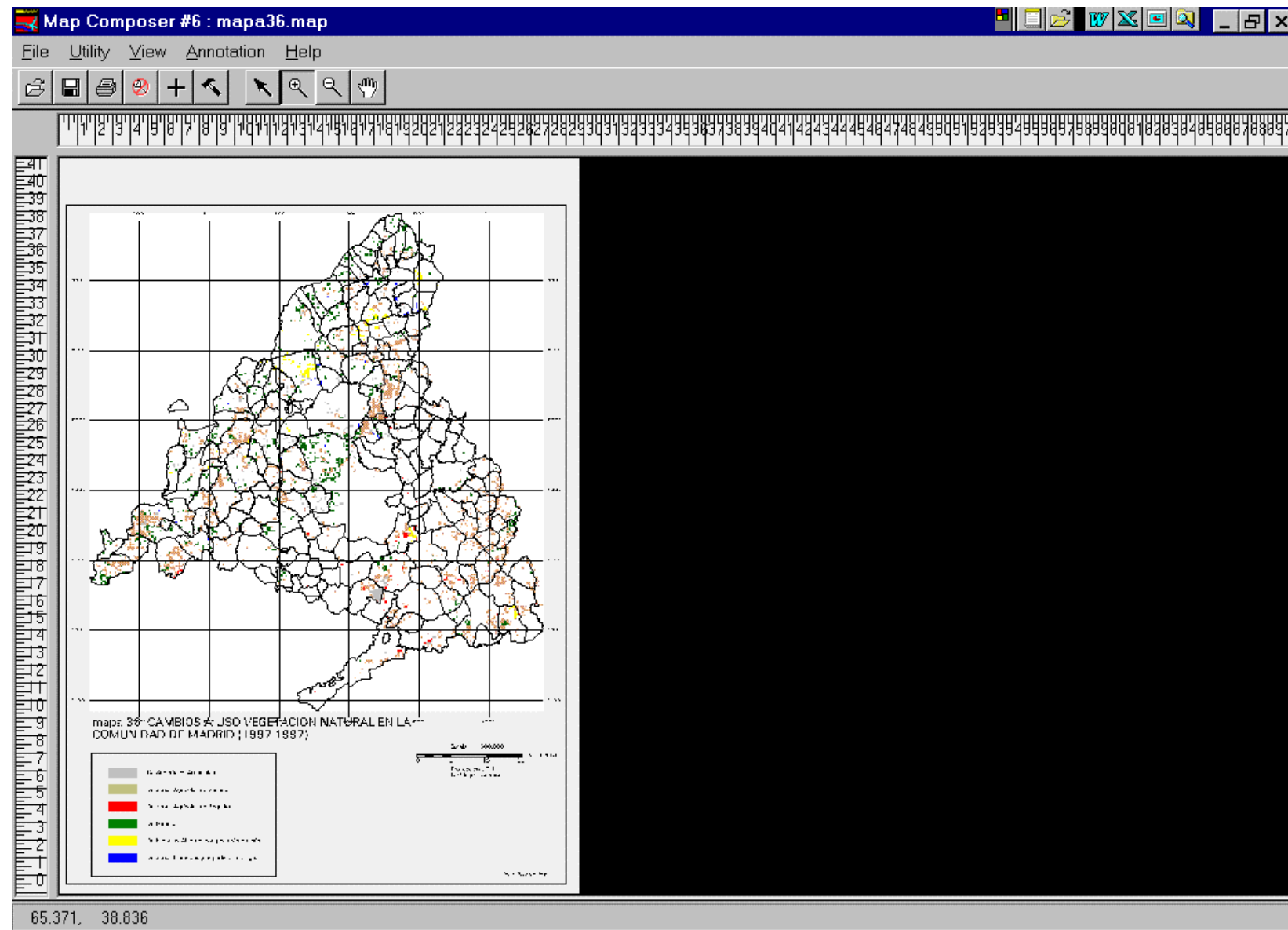


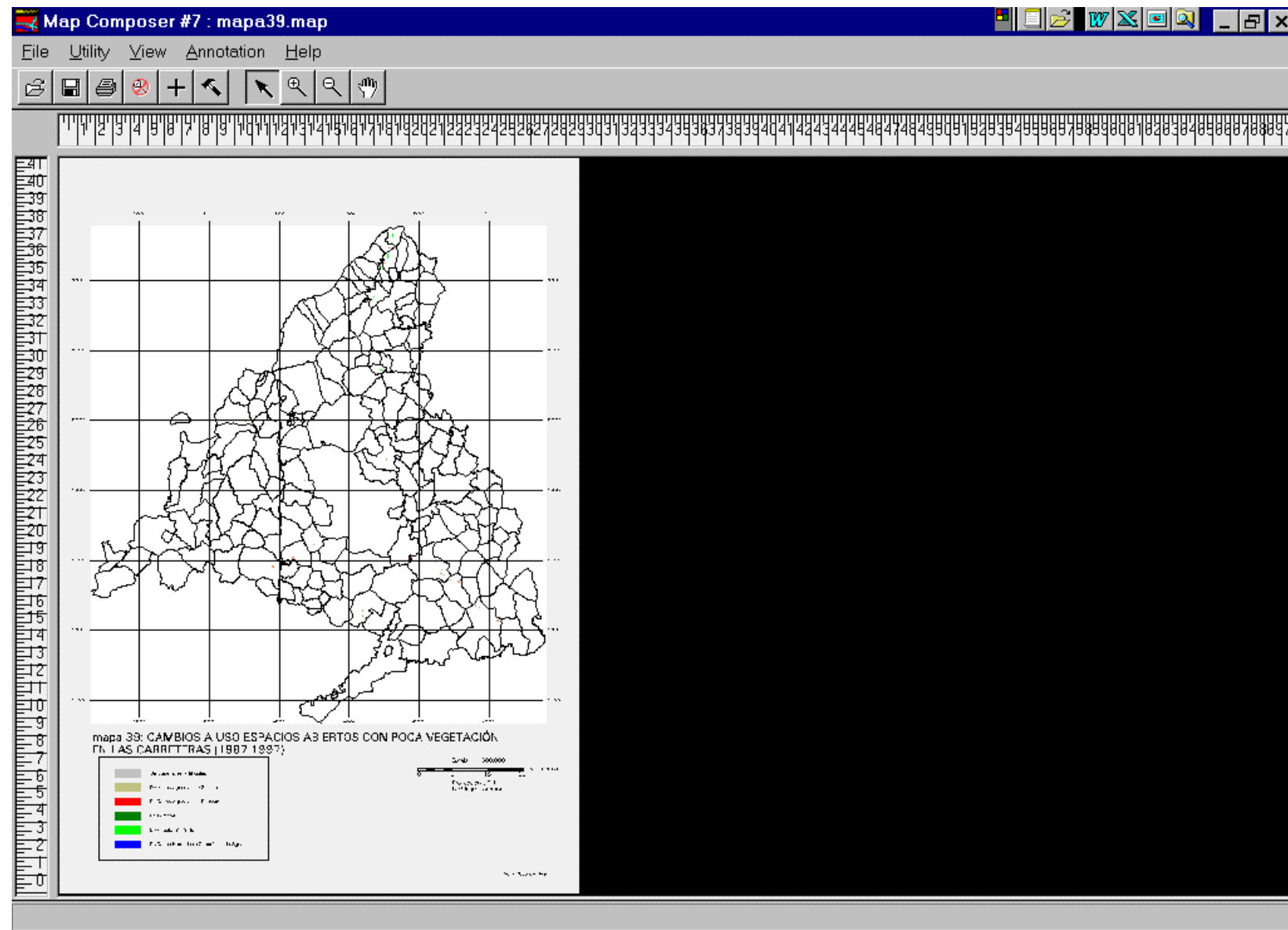


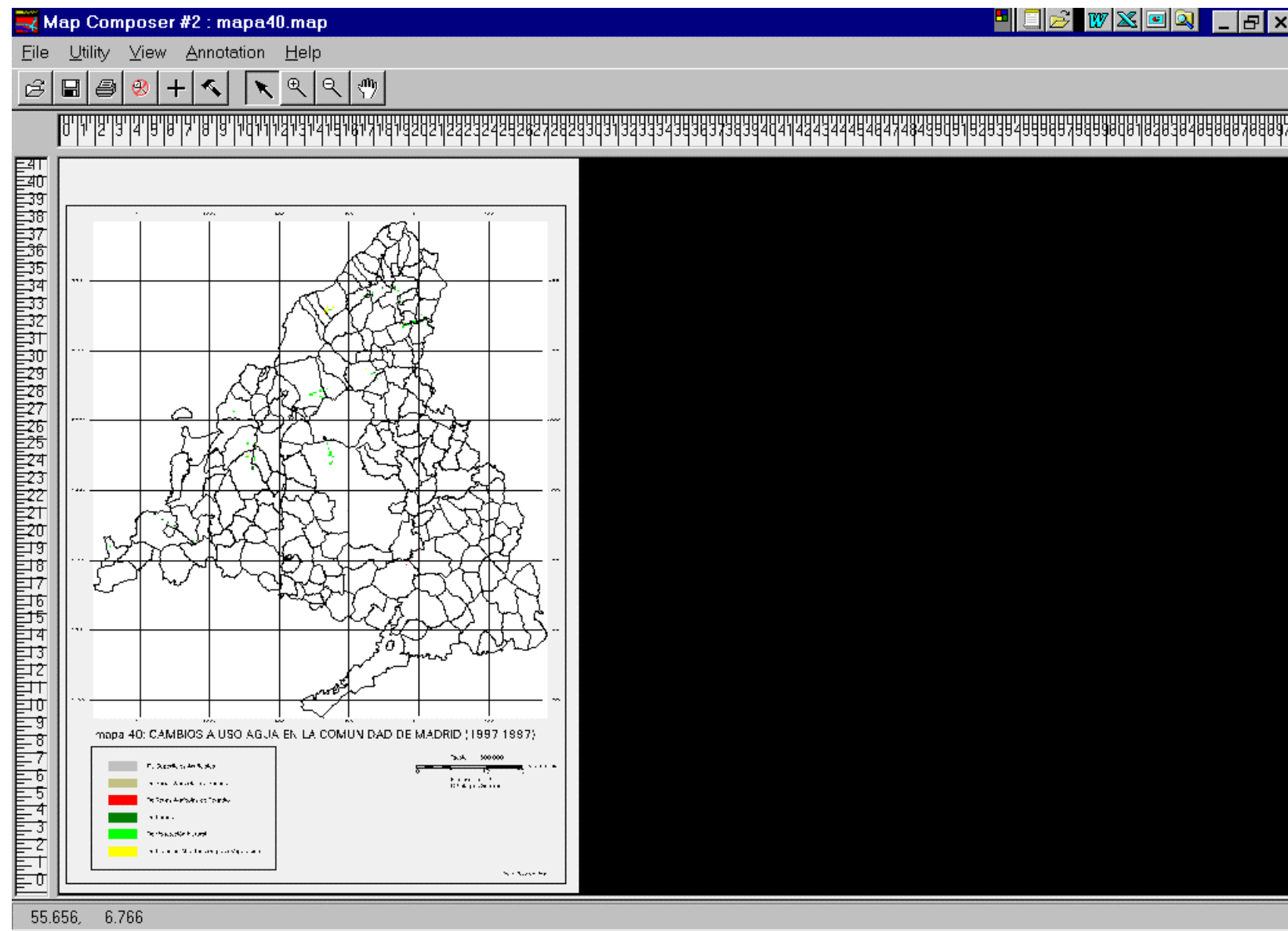


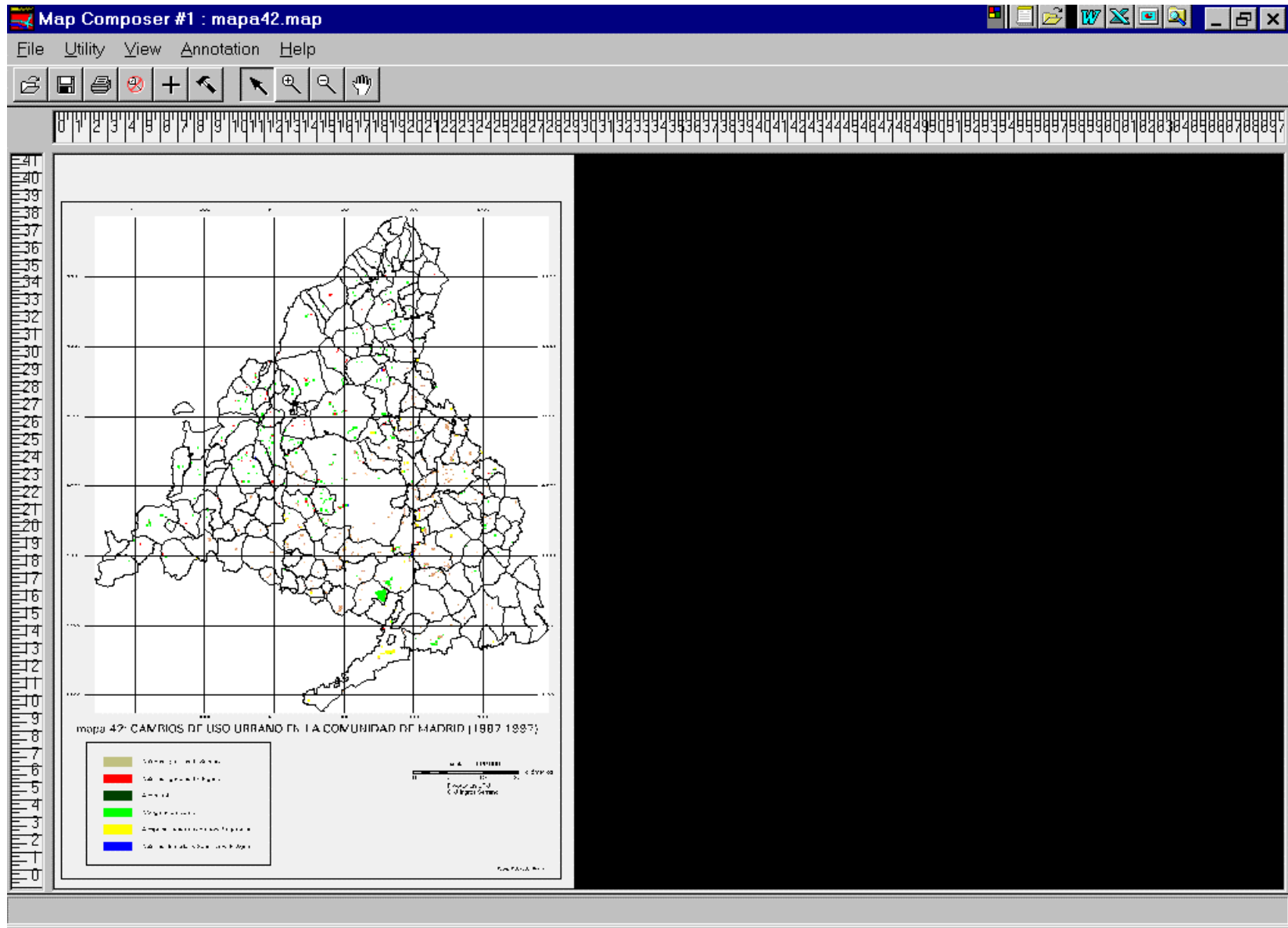


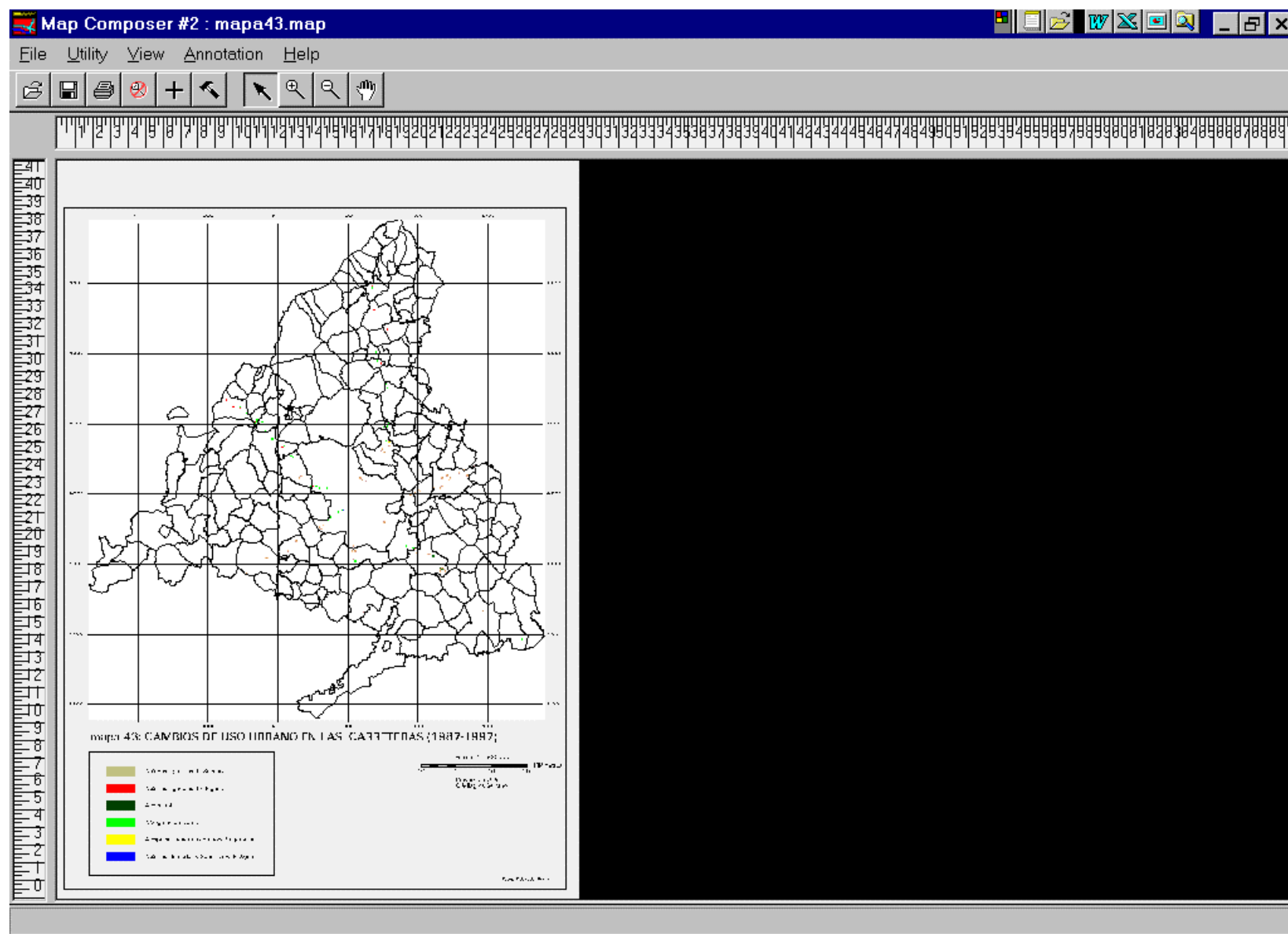


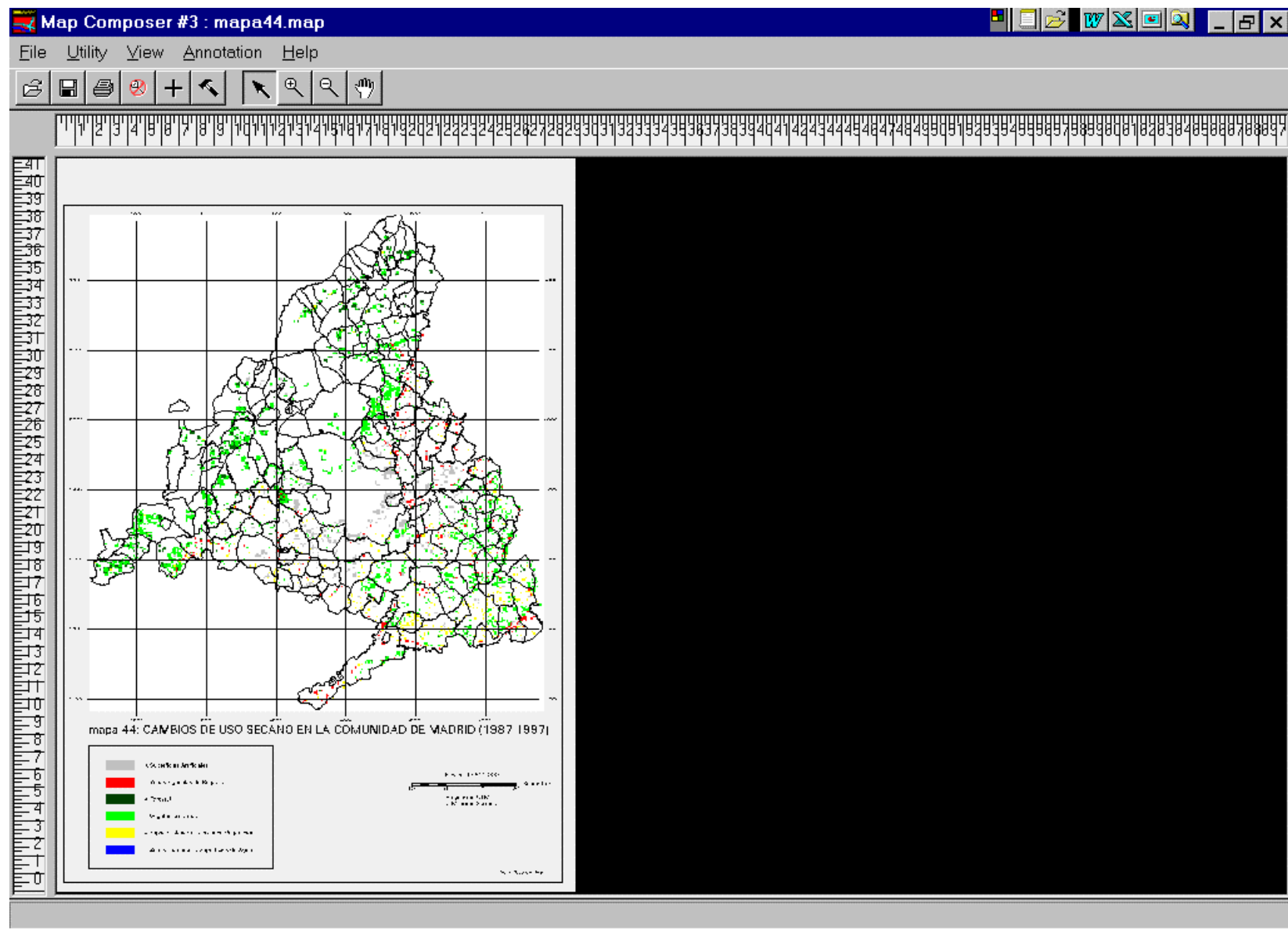


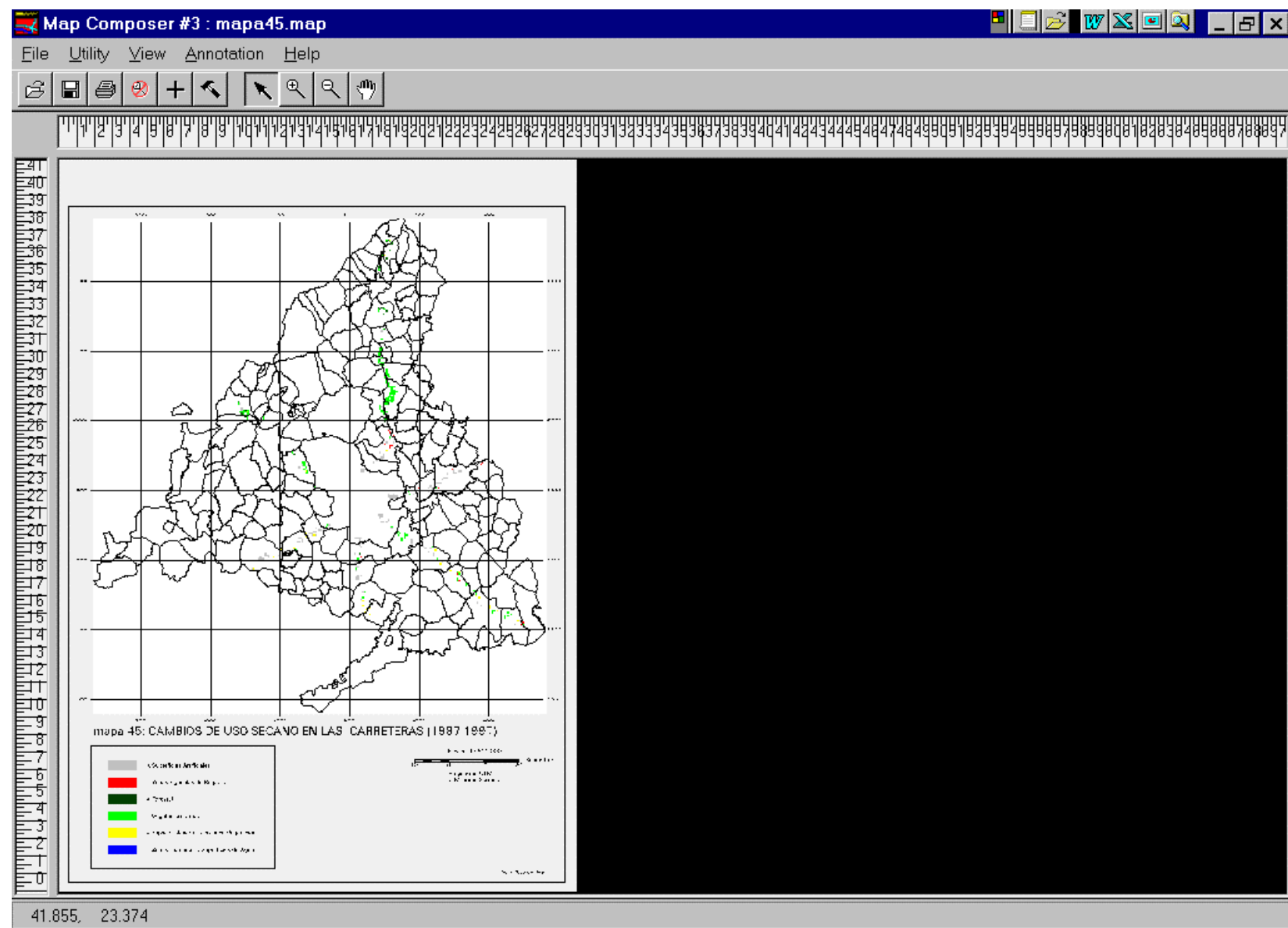


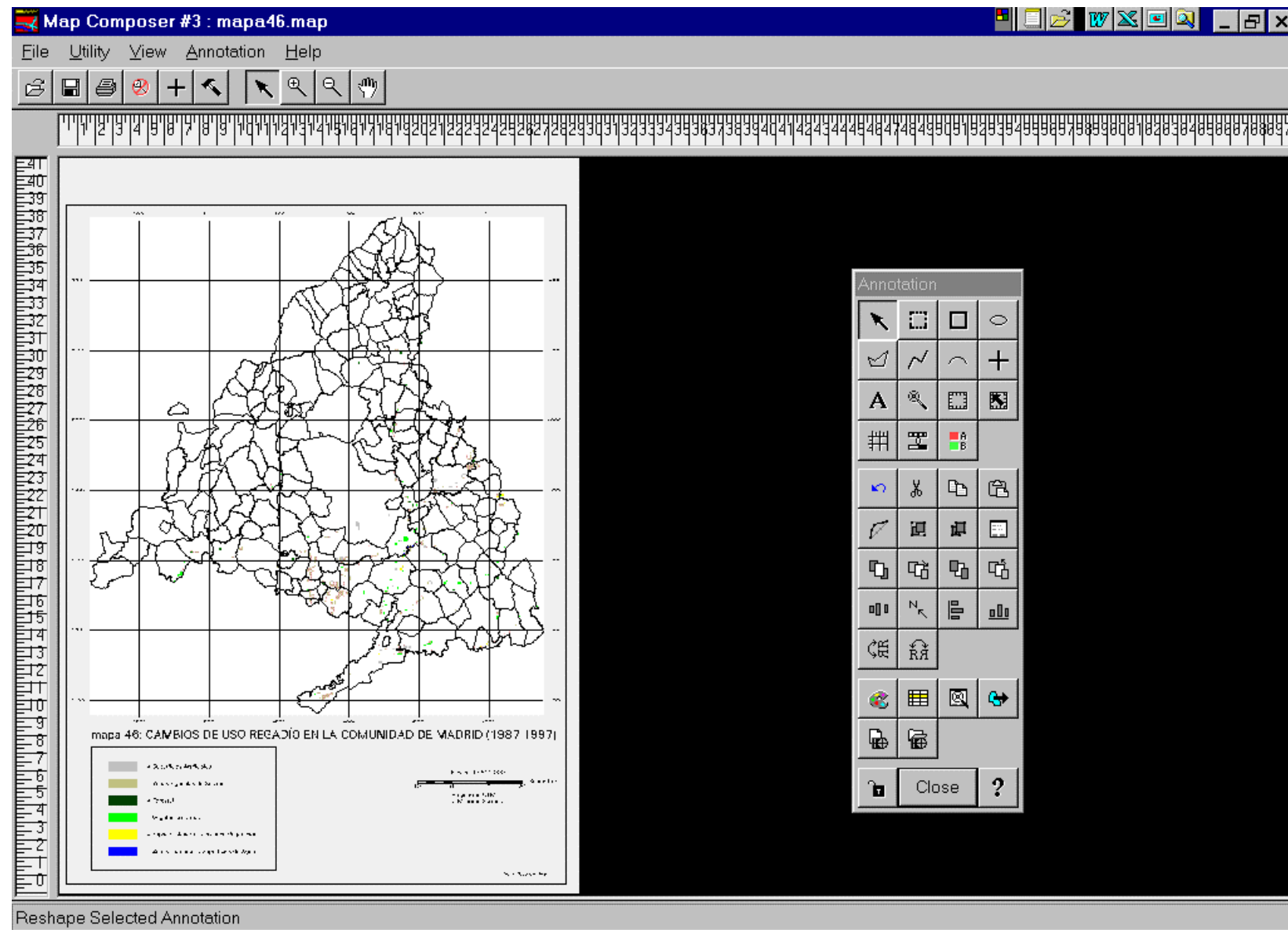


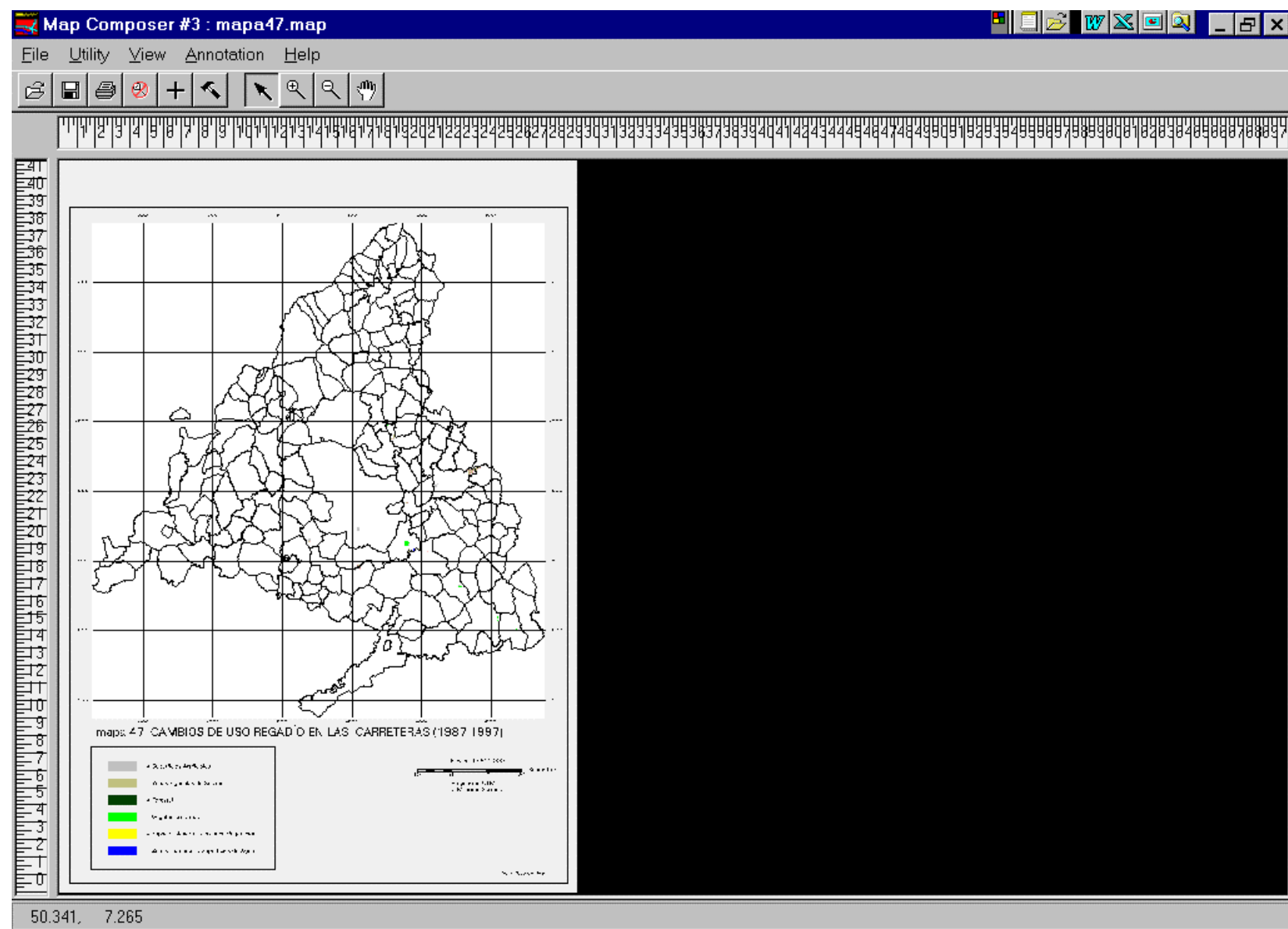


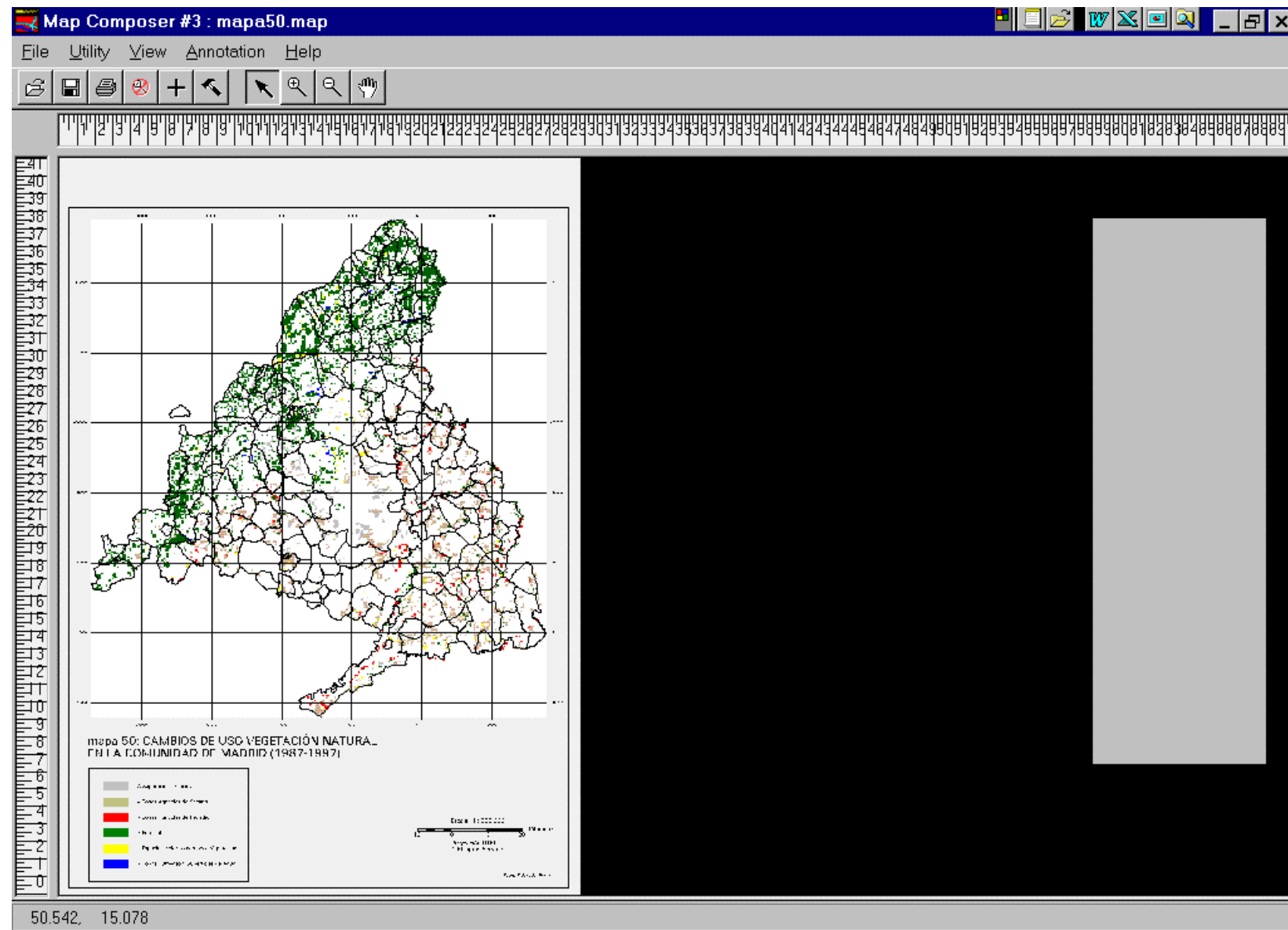


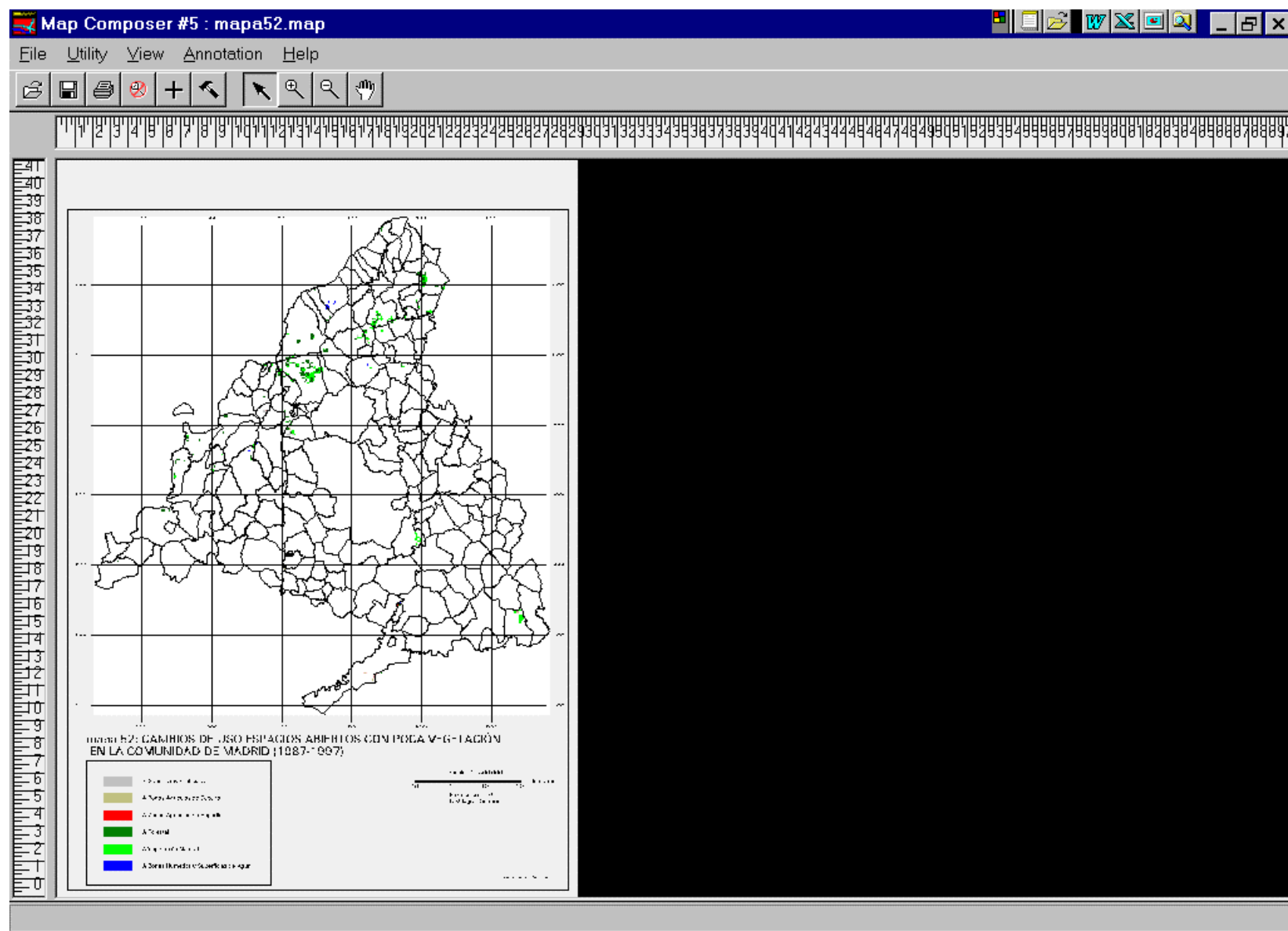


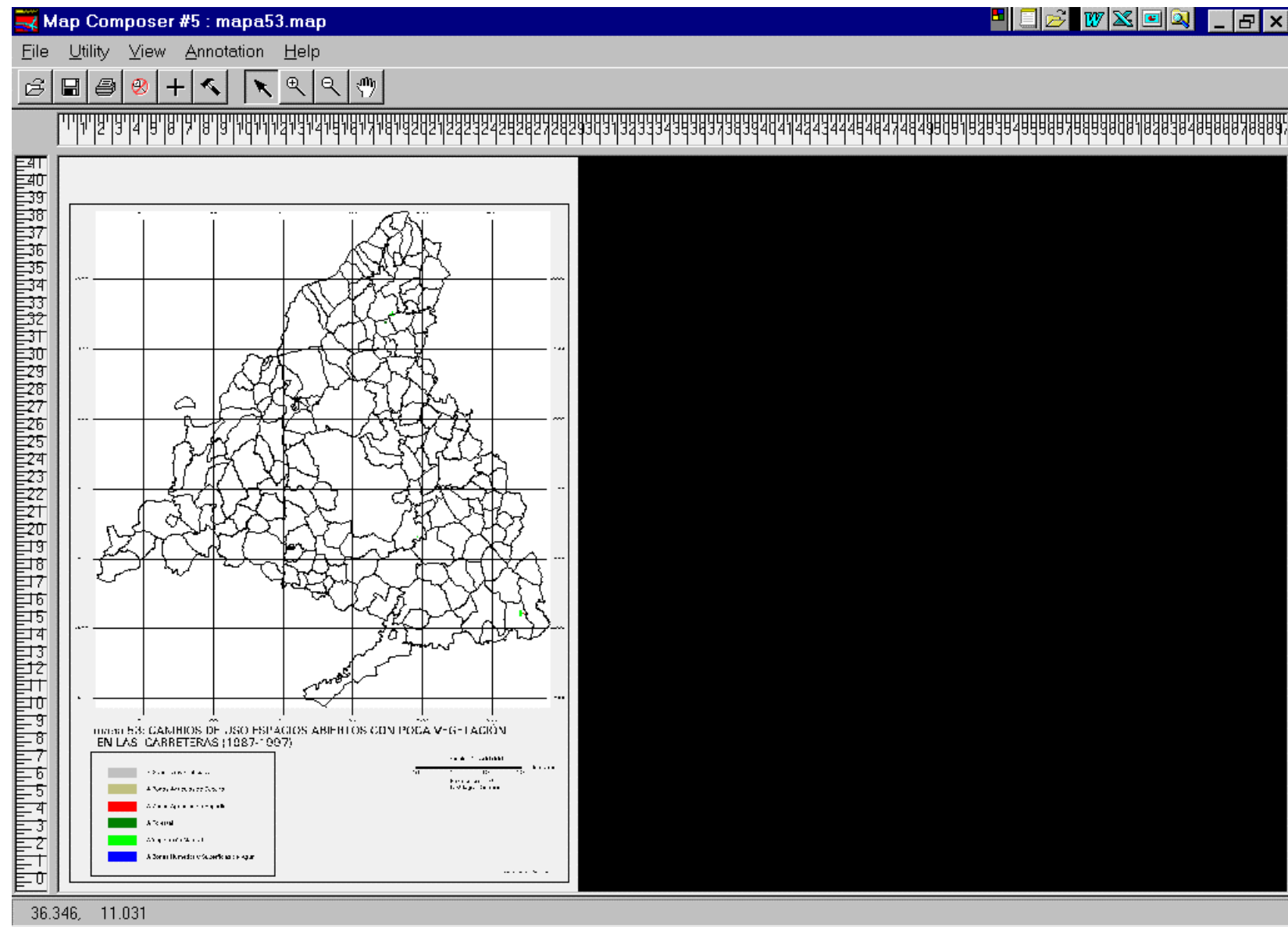


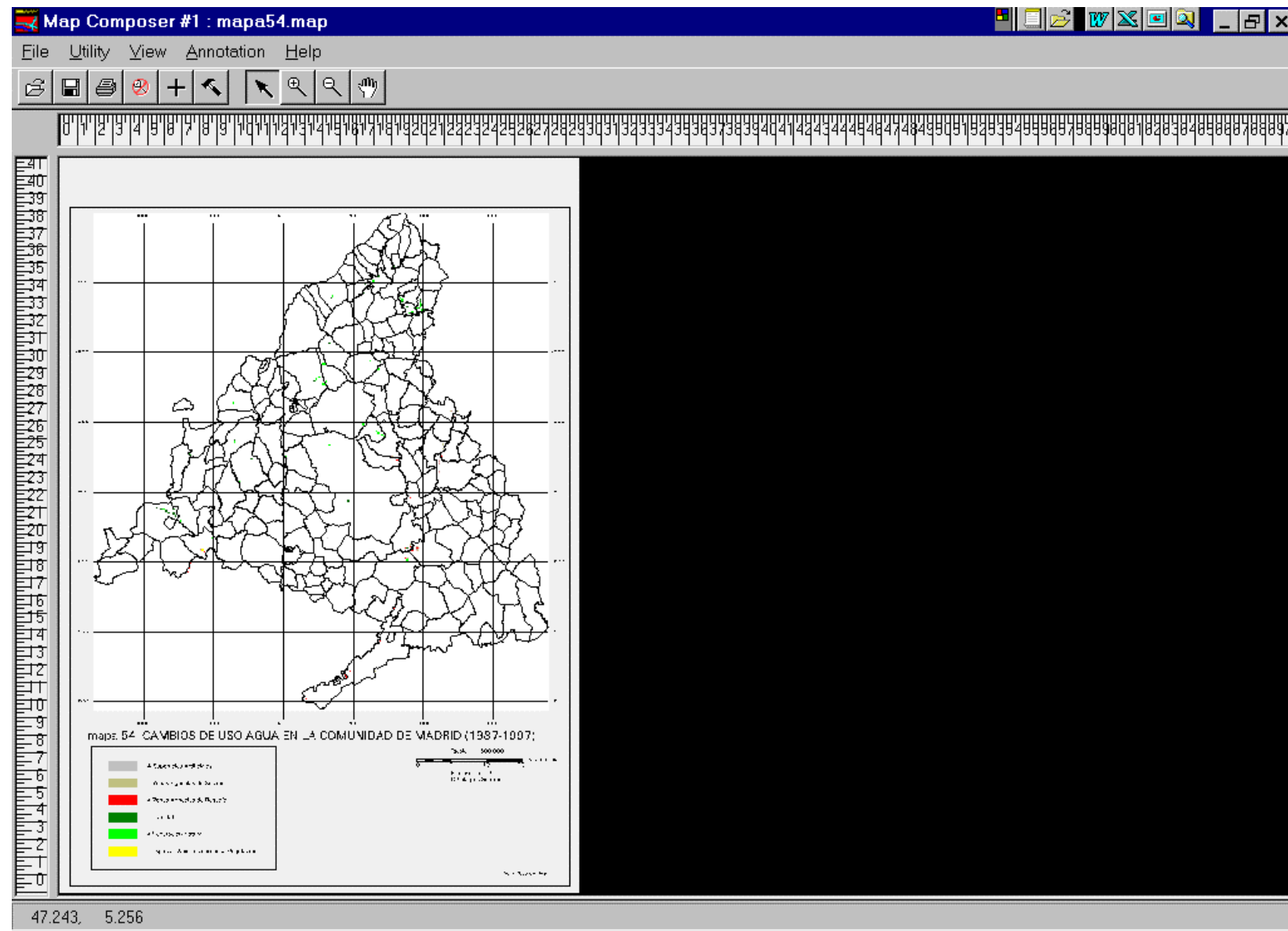


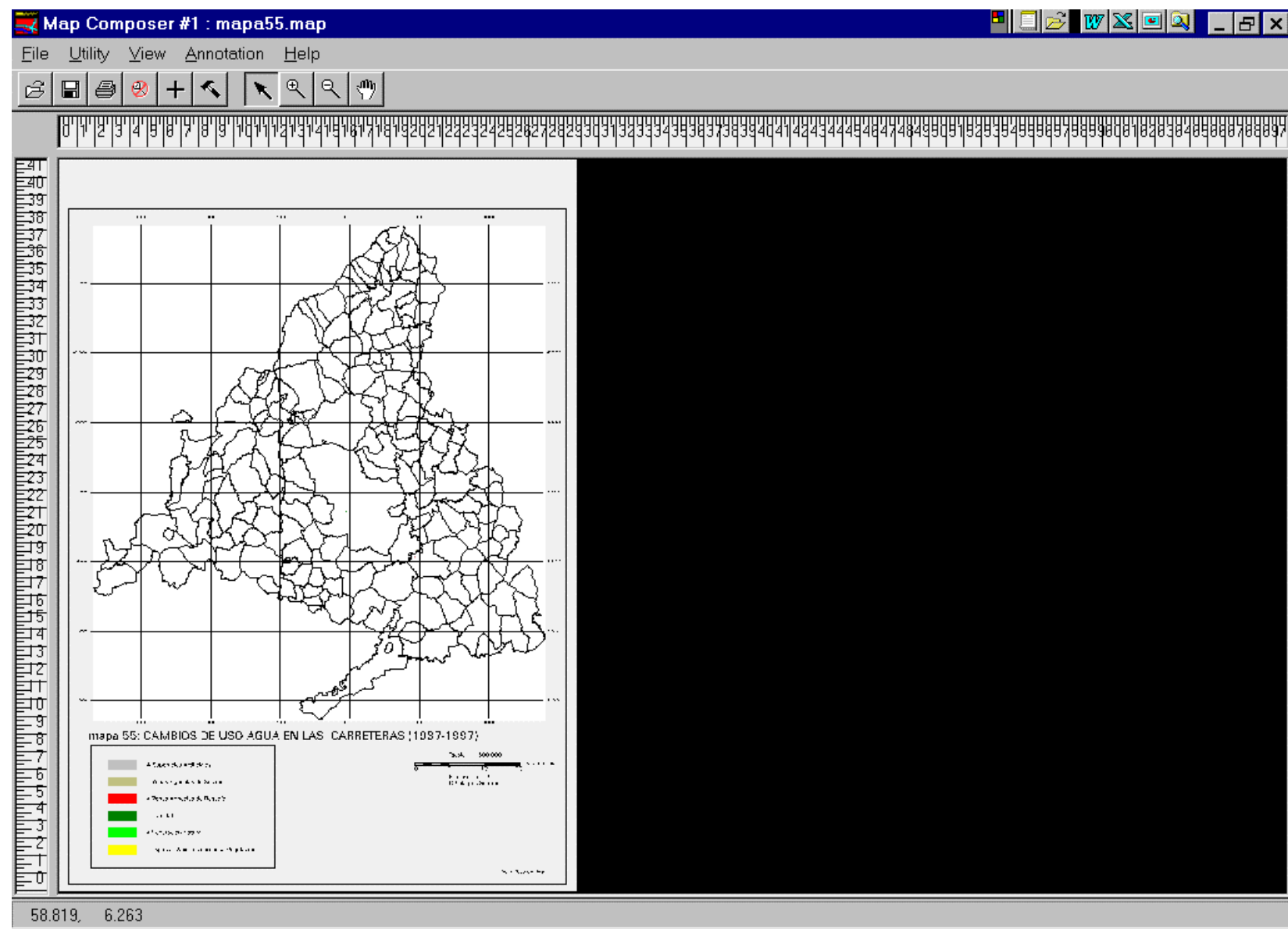


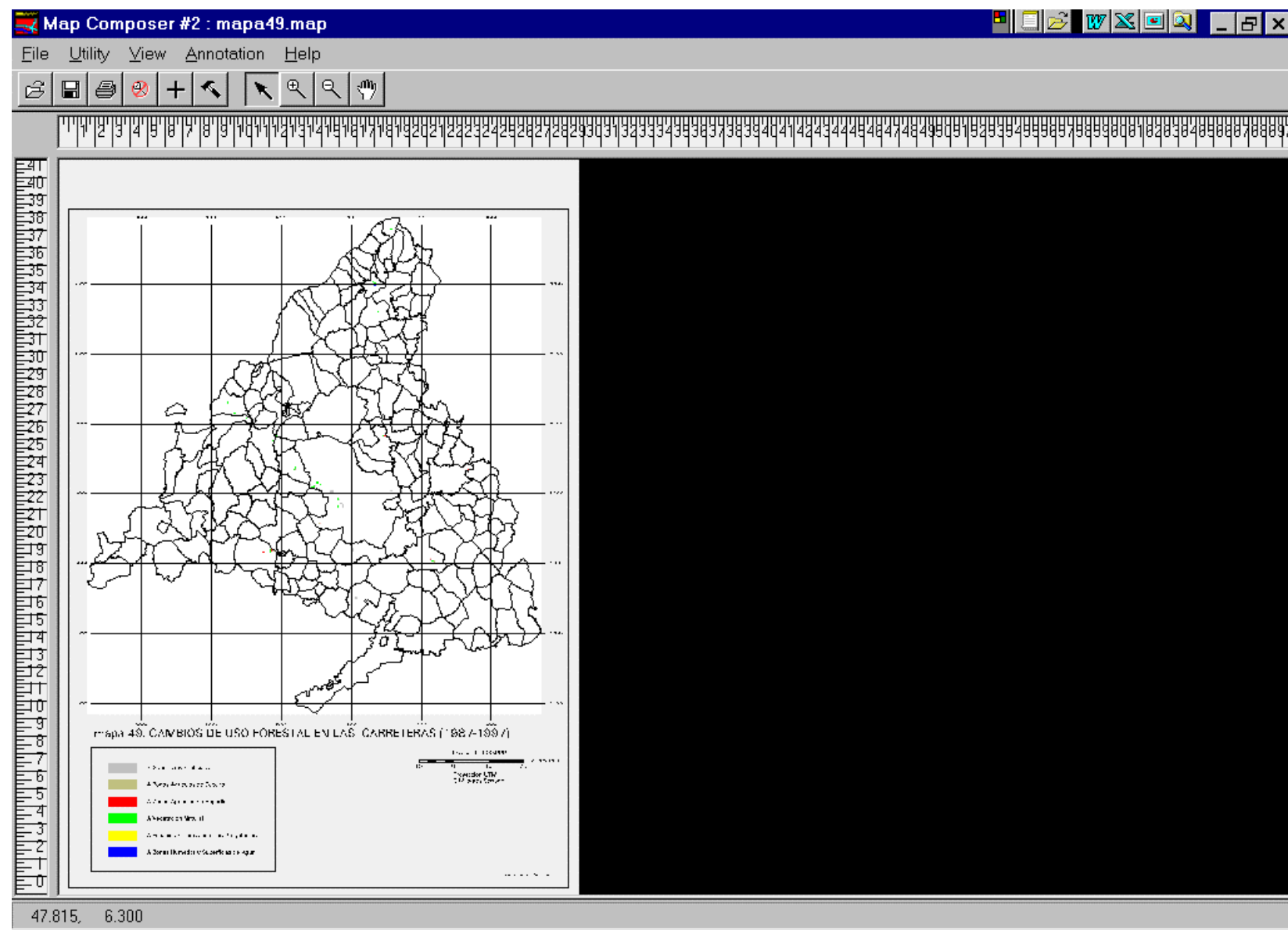


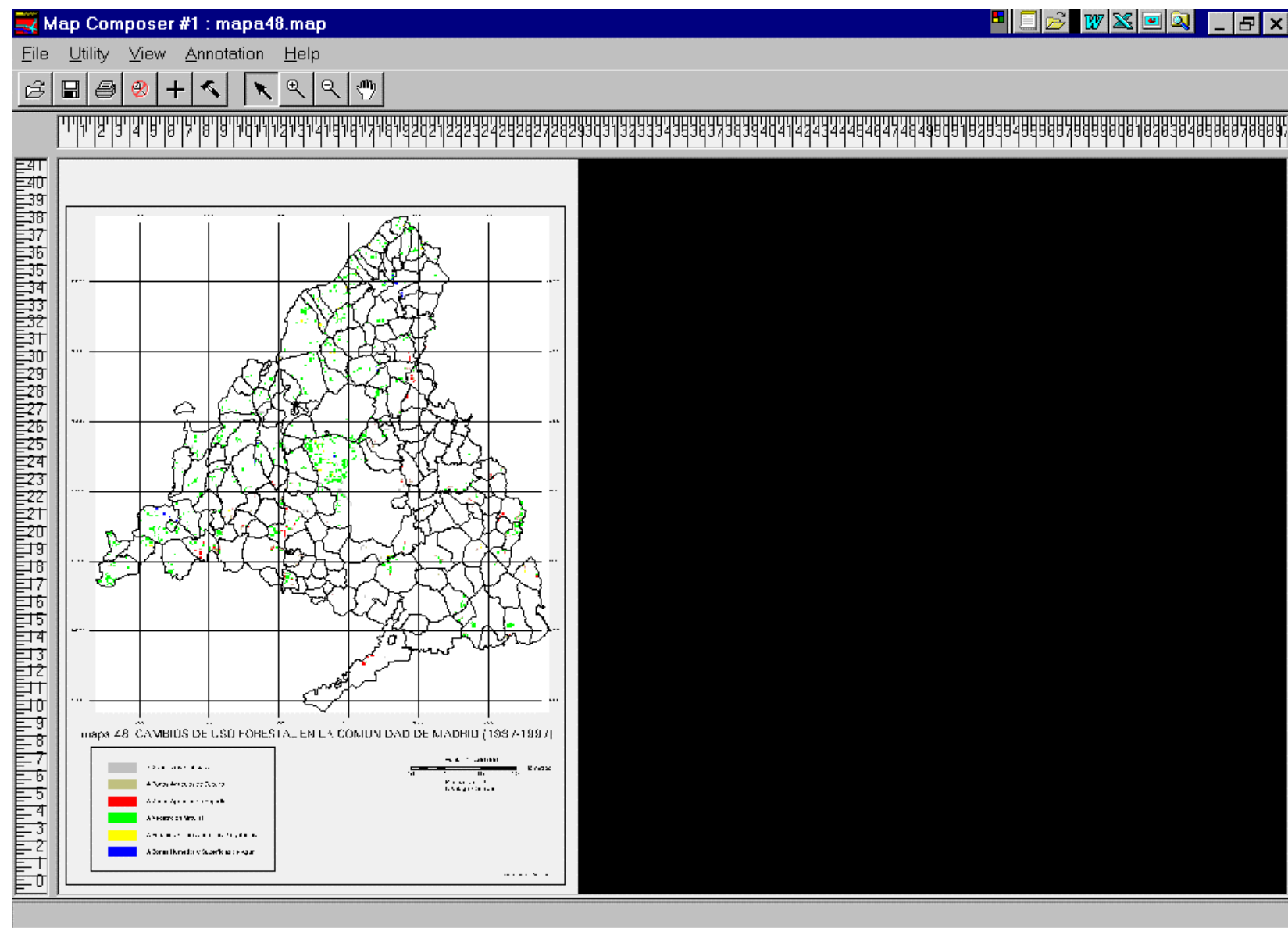


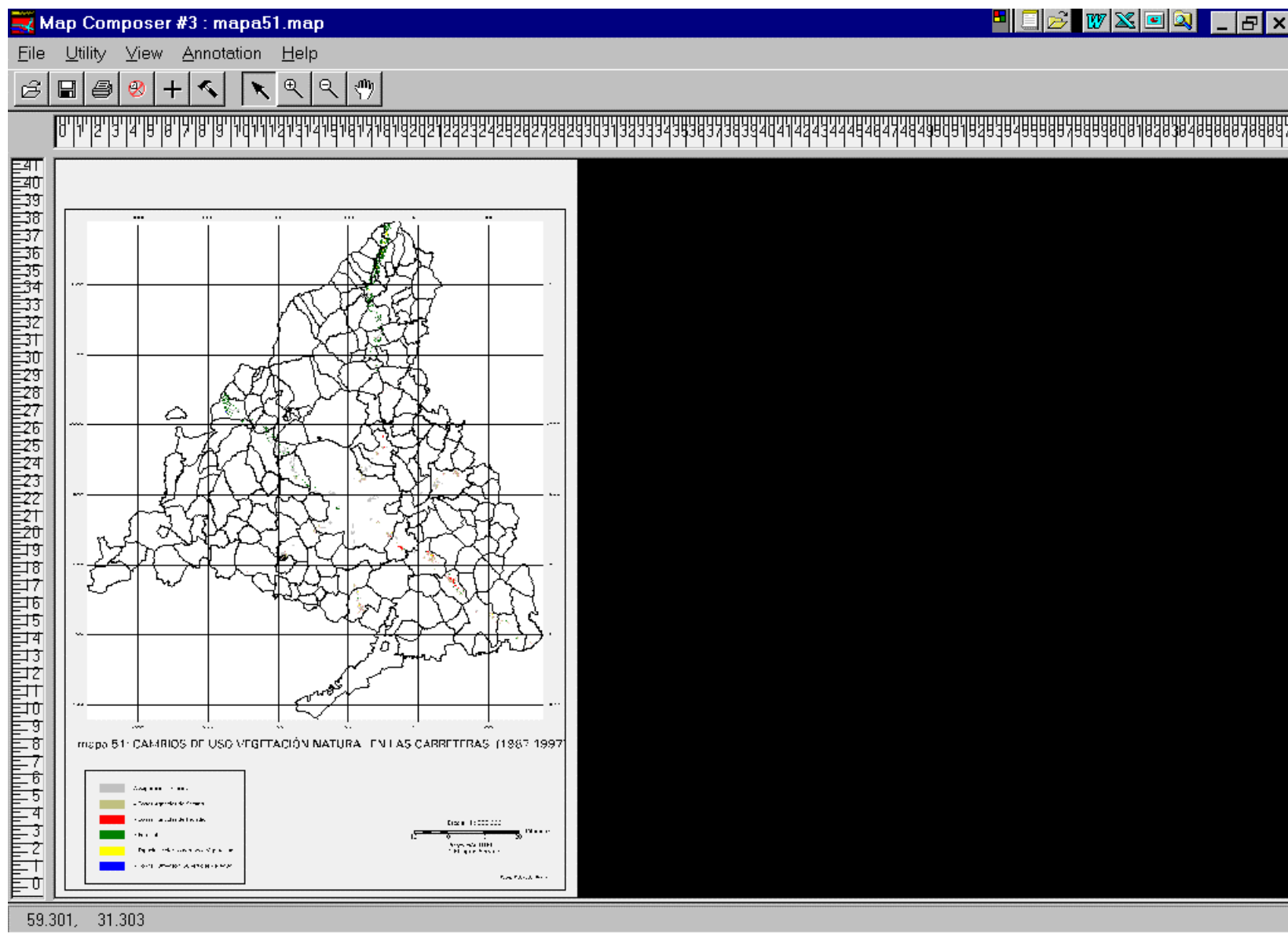


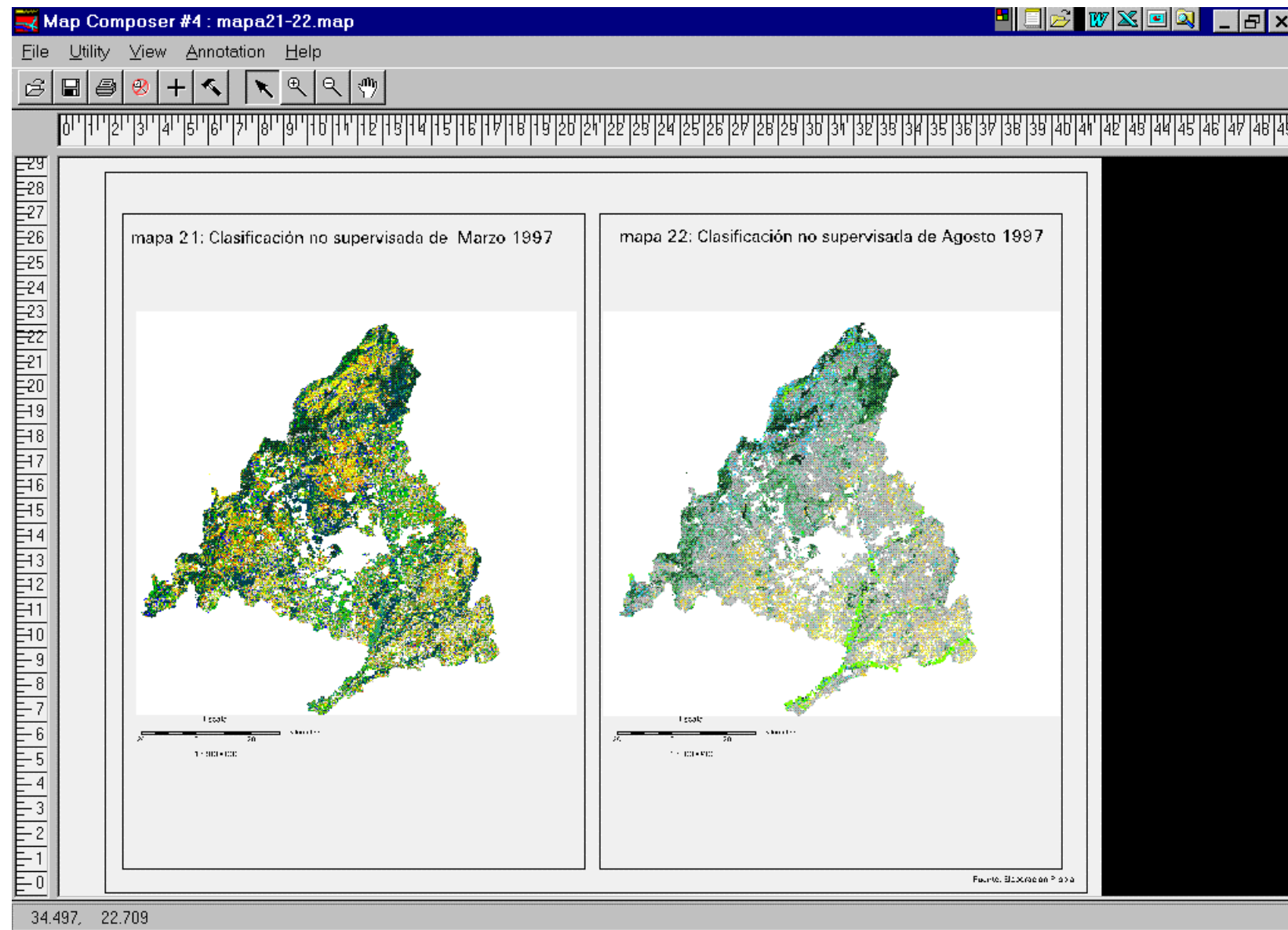


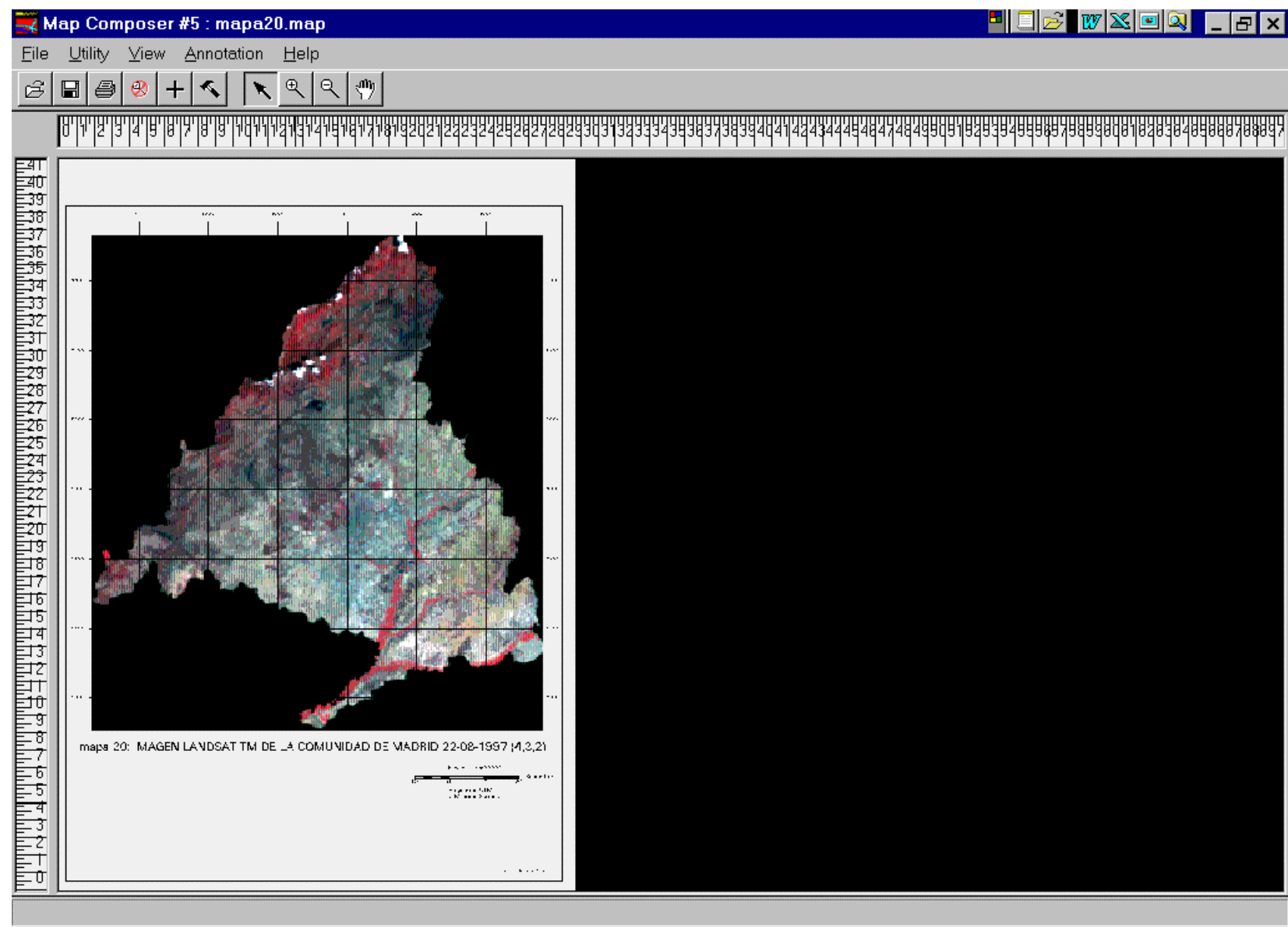


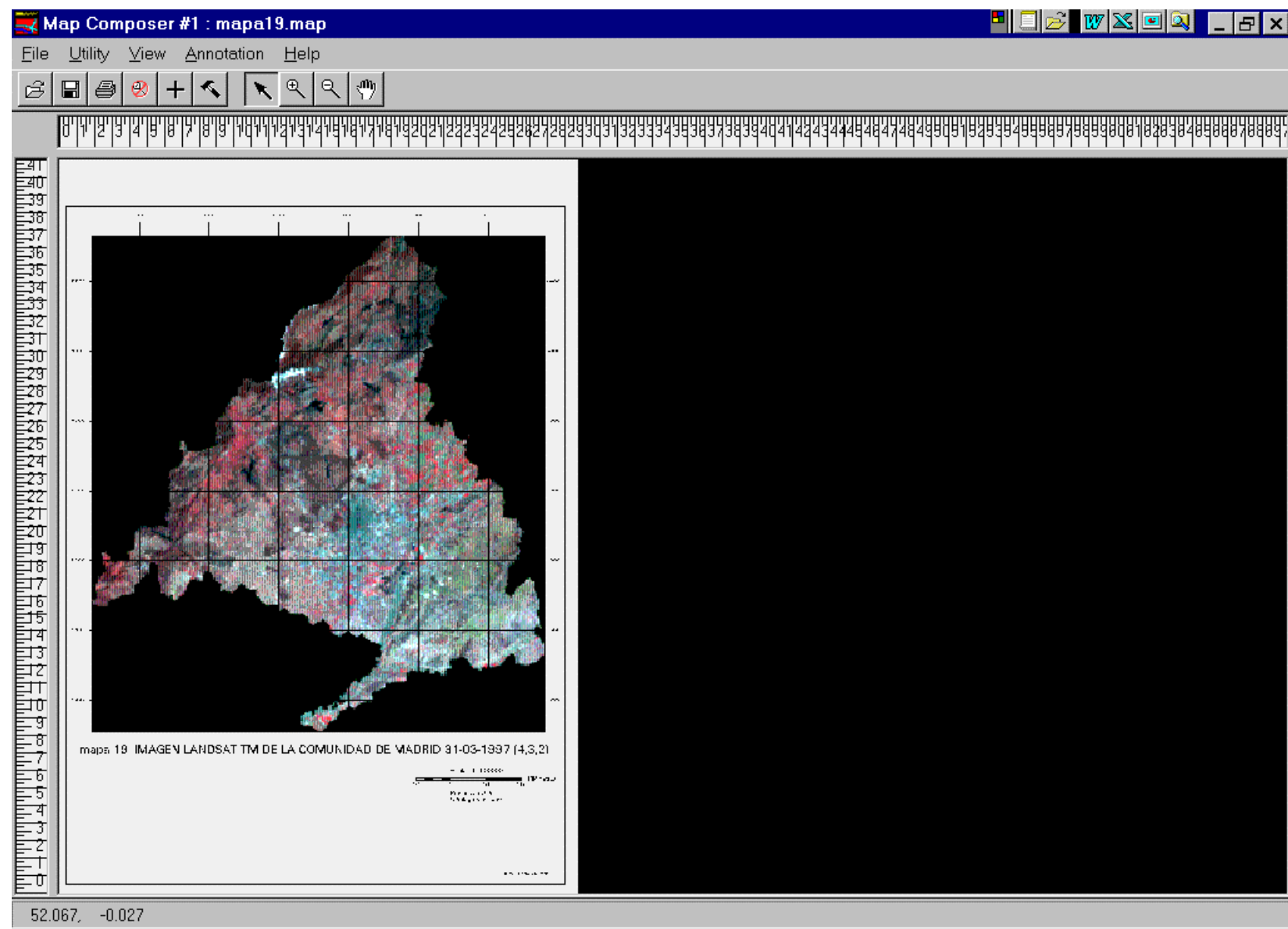


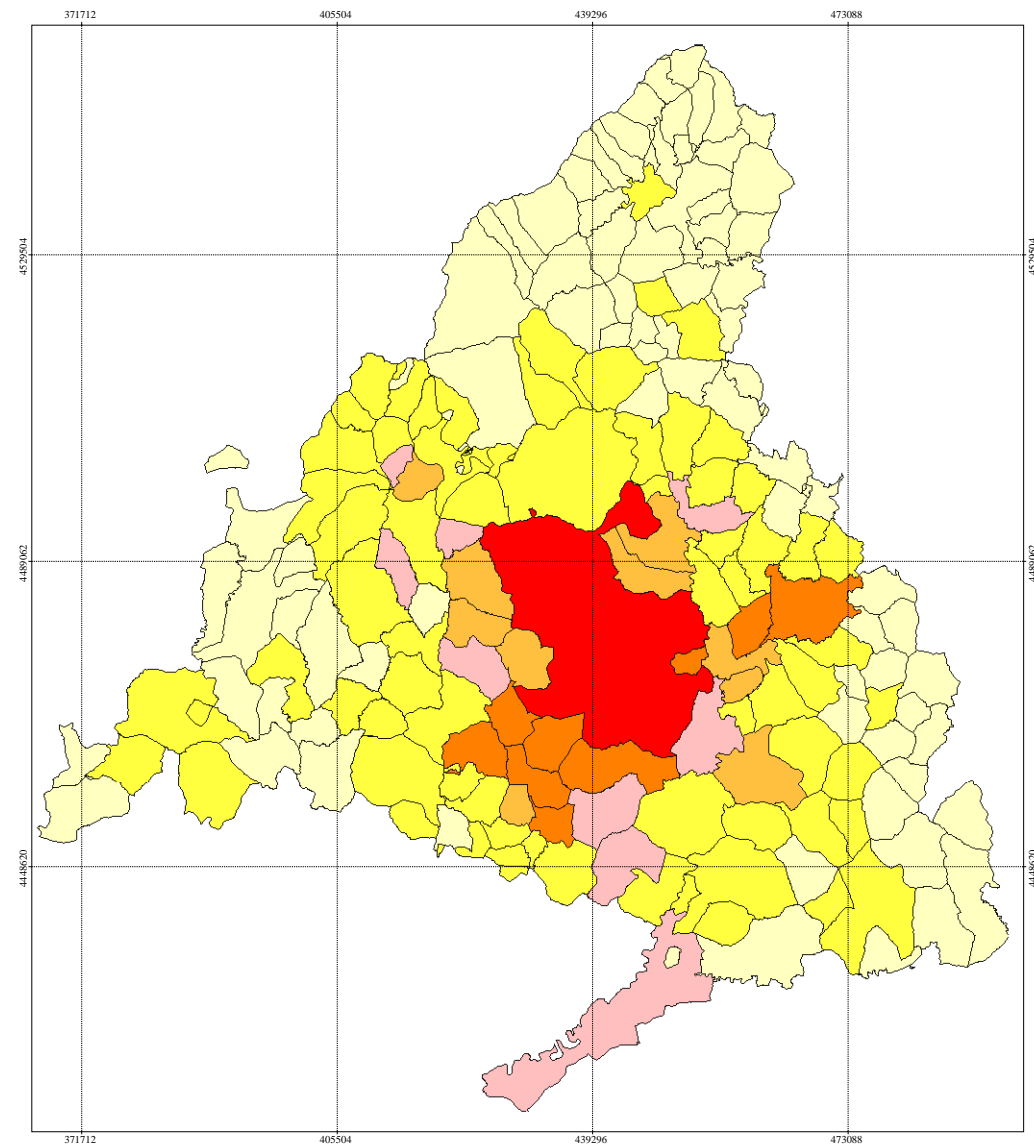




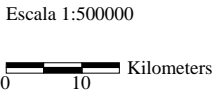
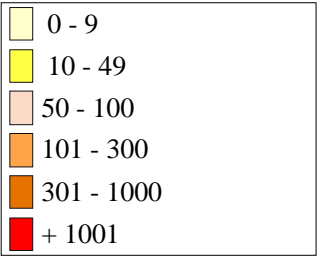




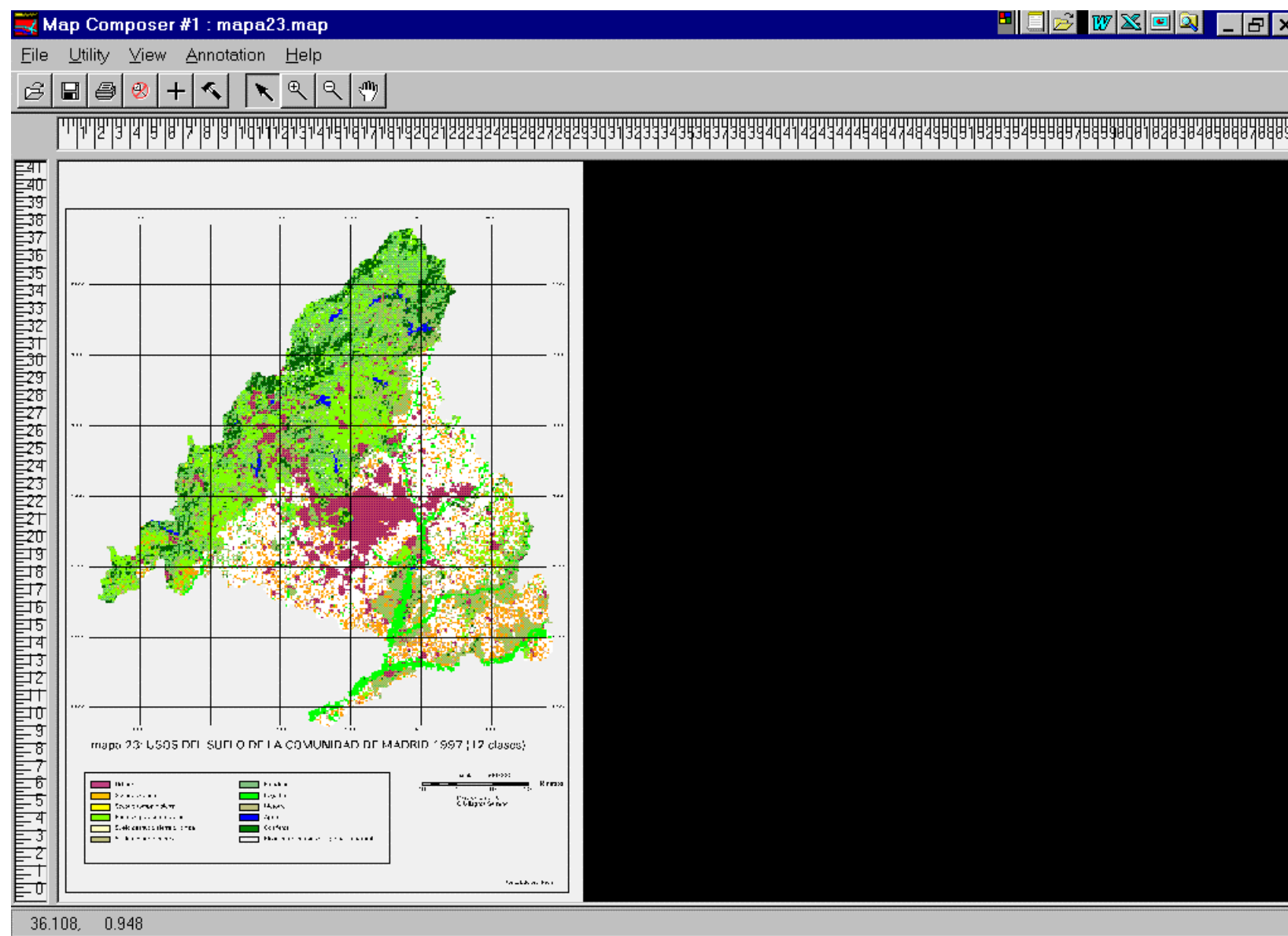


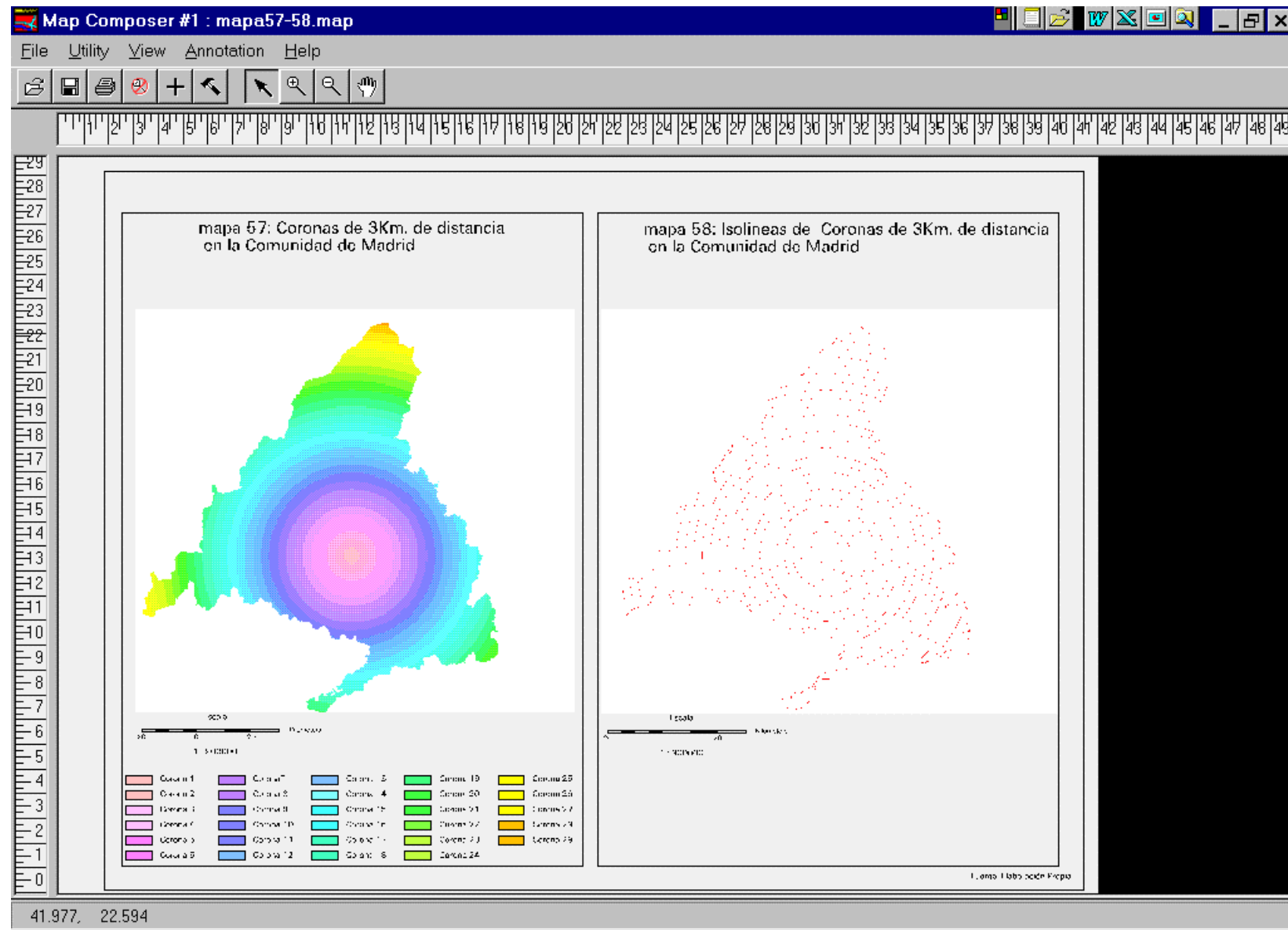


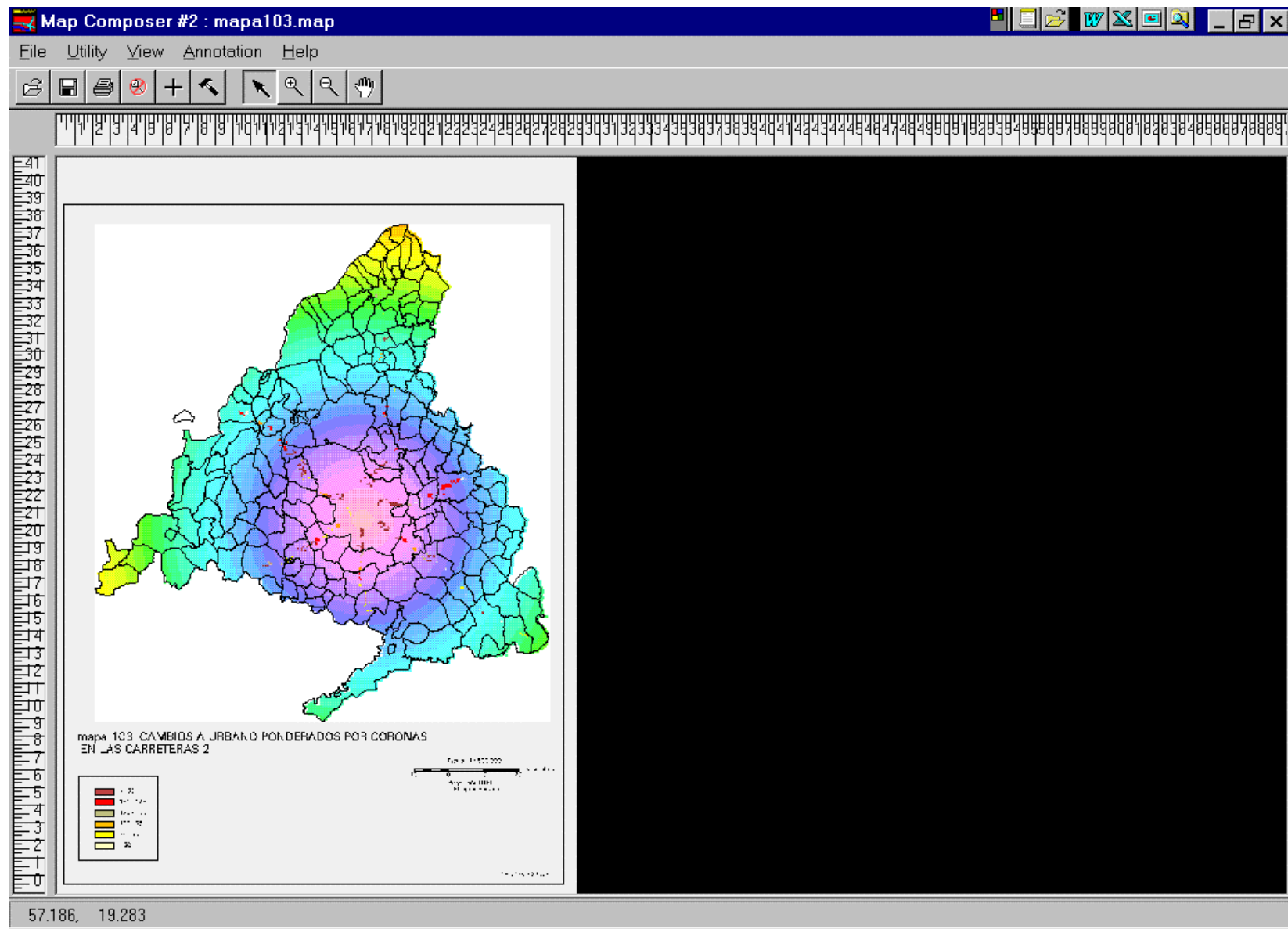
Mapa 56: tasa de urbanización de los municipios de la Comunidad de Madrid

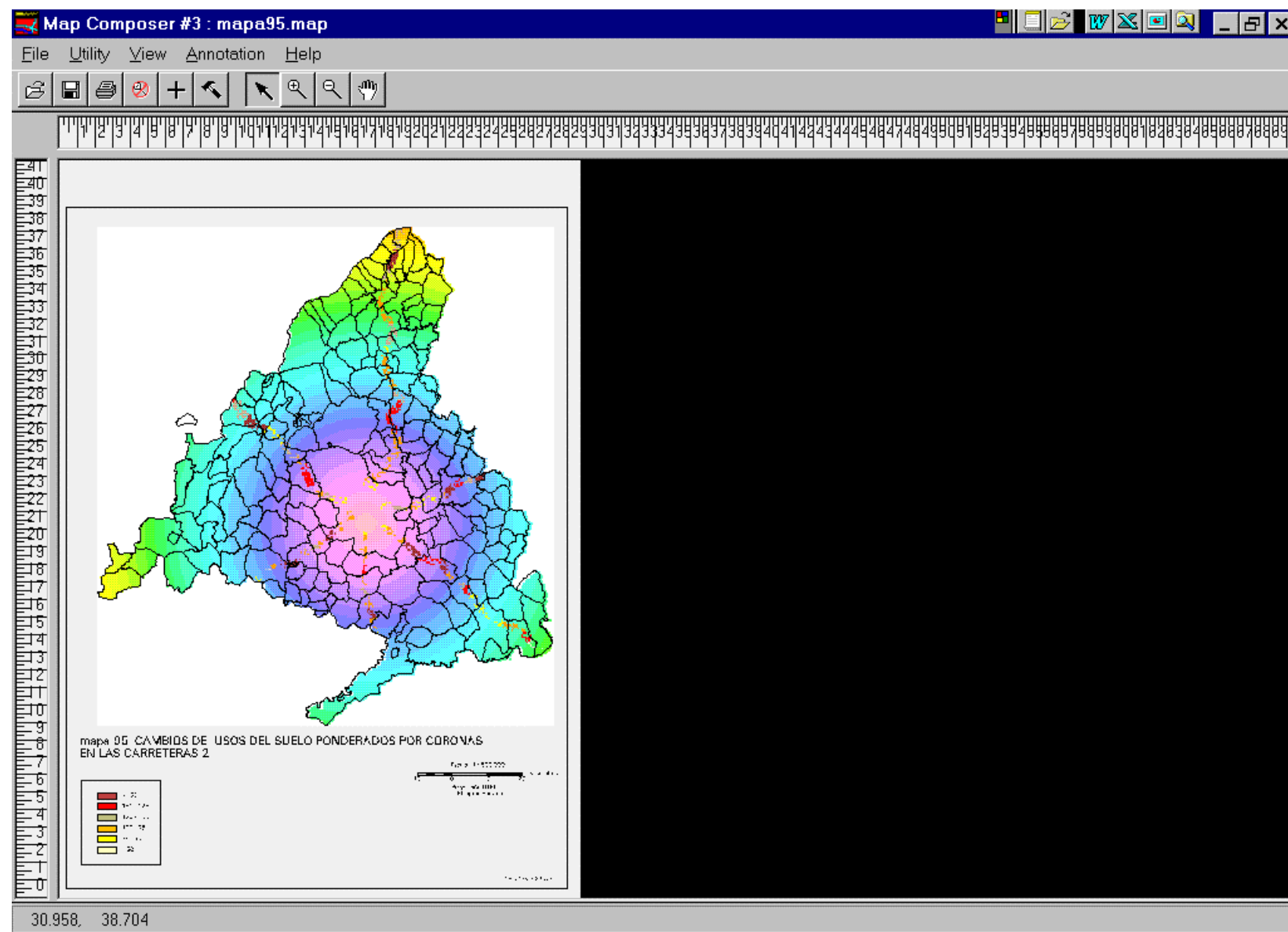


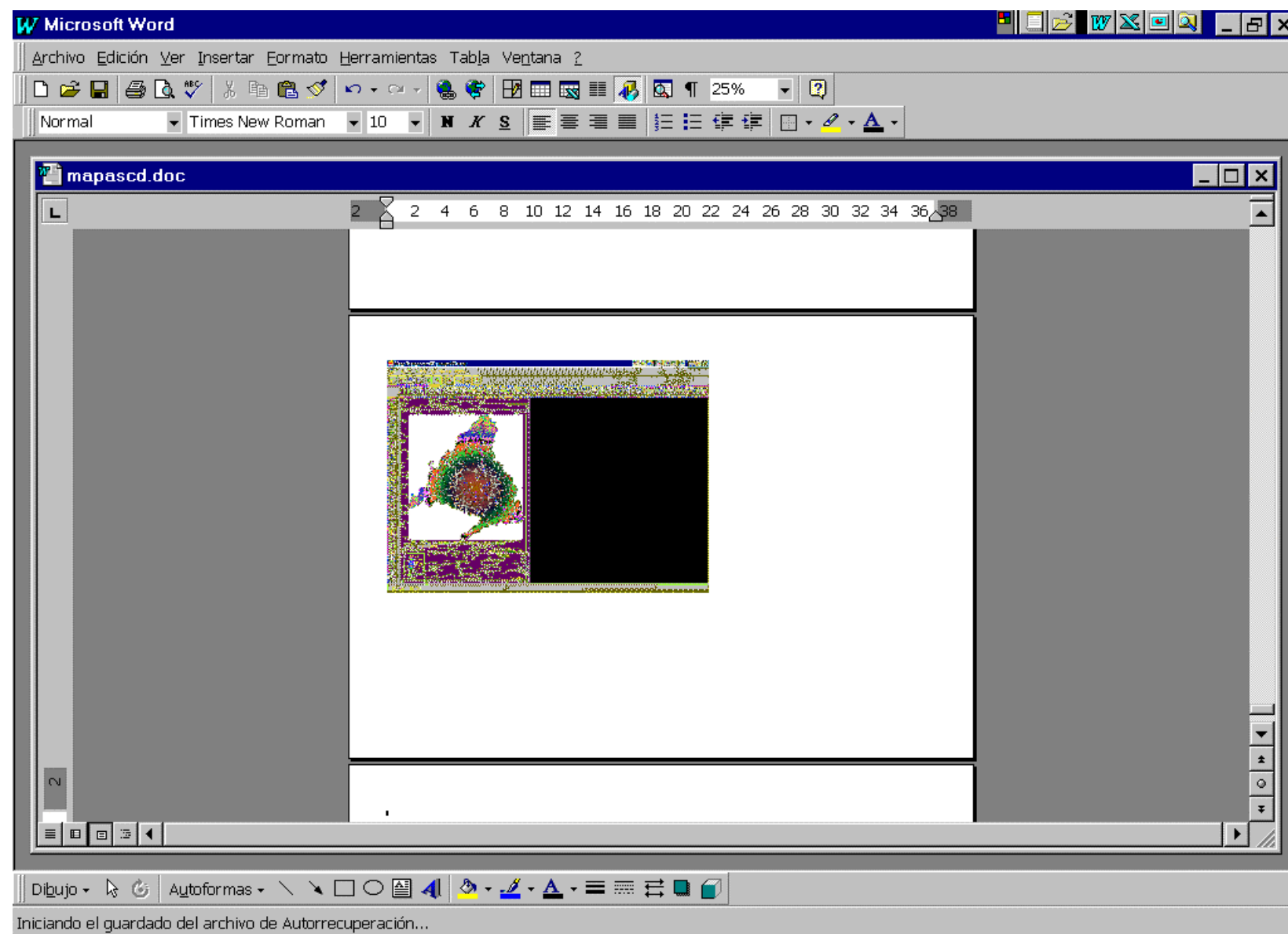
Fuente: Elaboración Propia a partir de los datos proporcionados por Jose M^a García

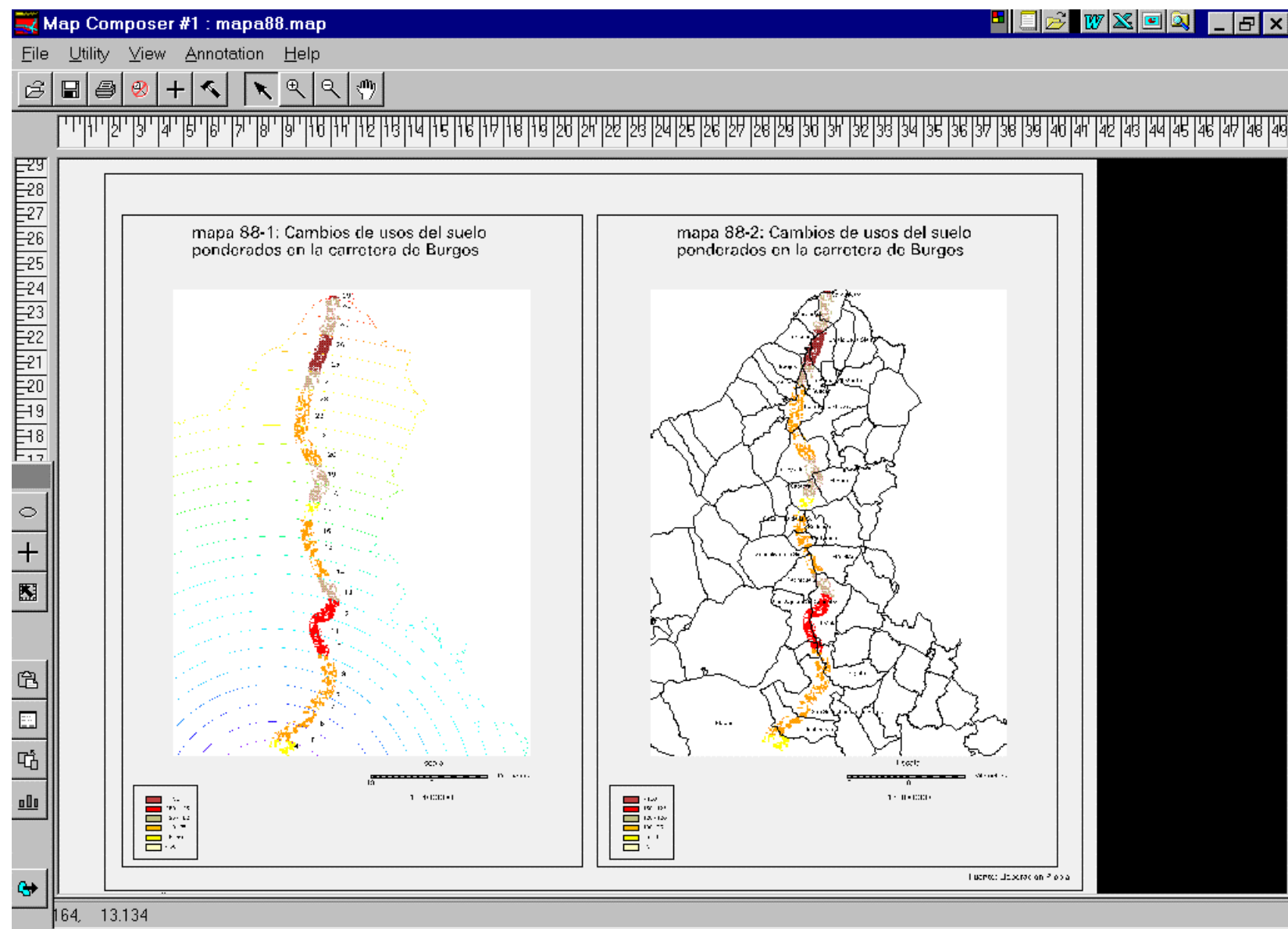


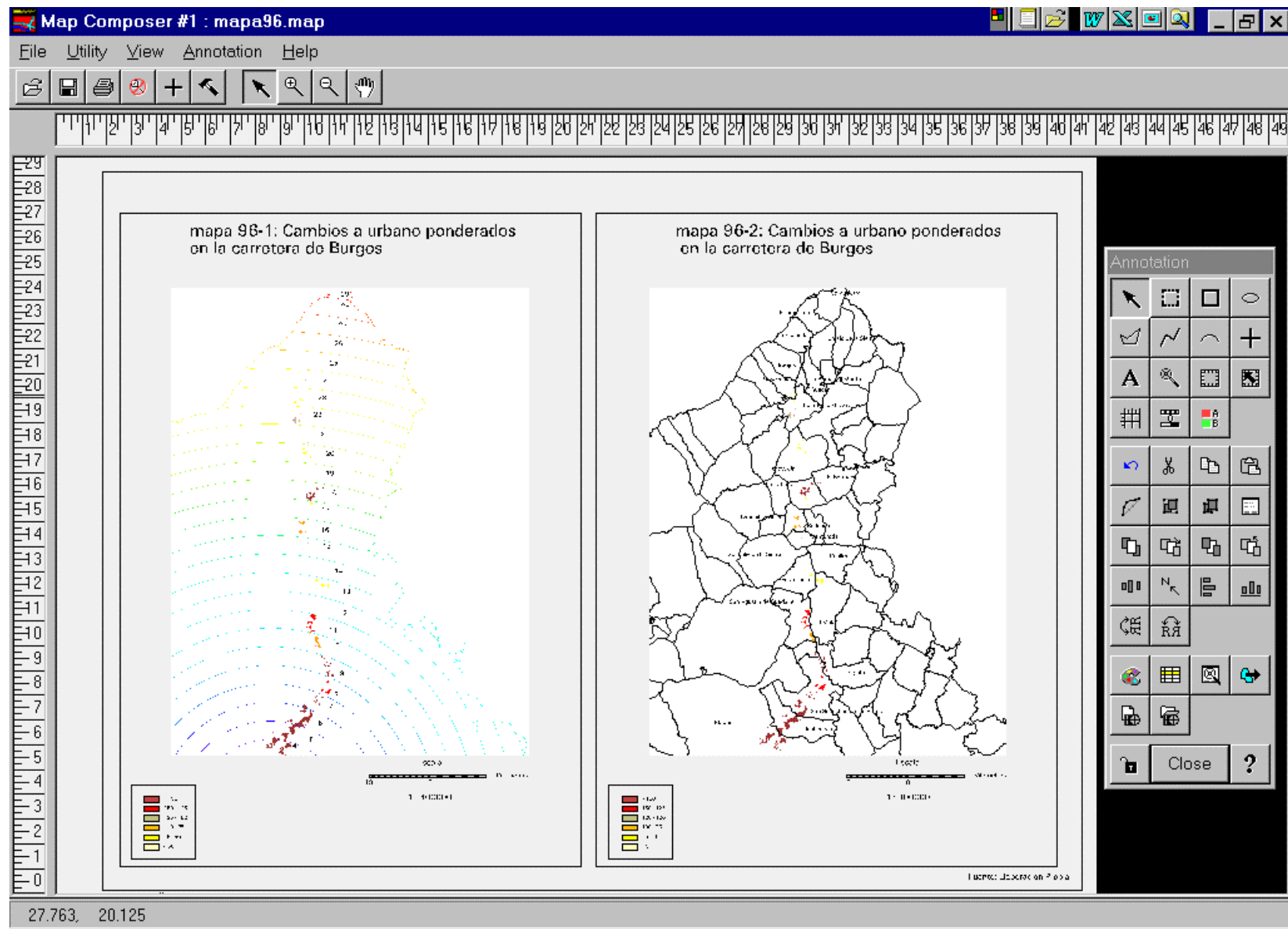


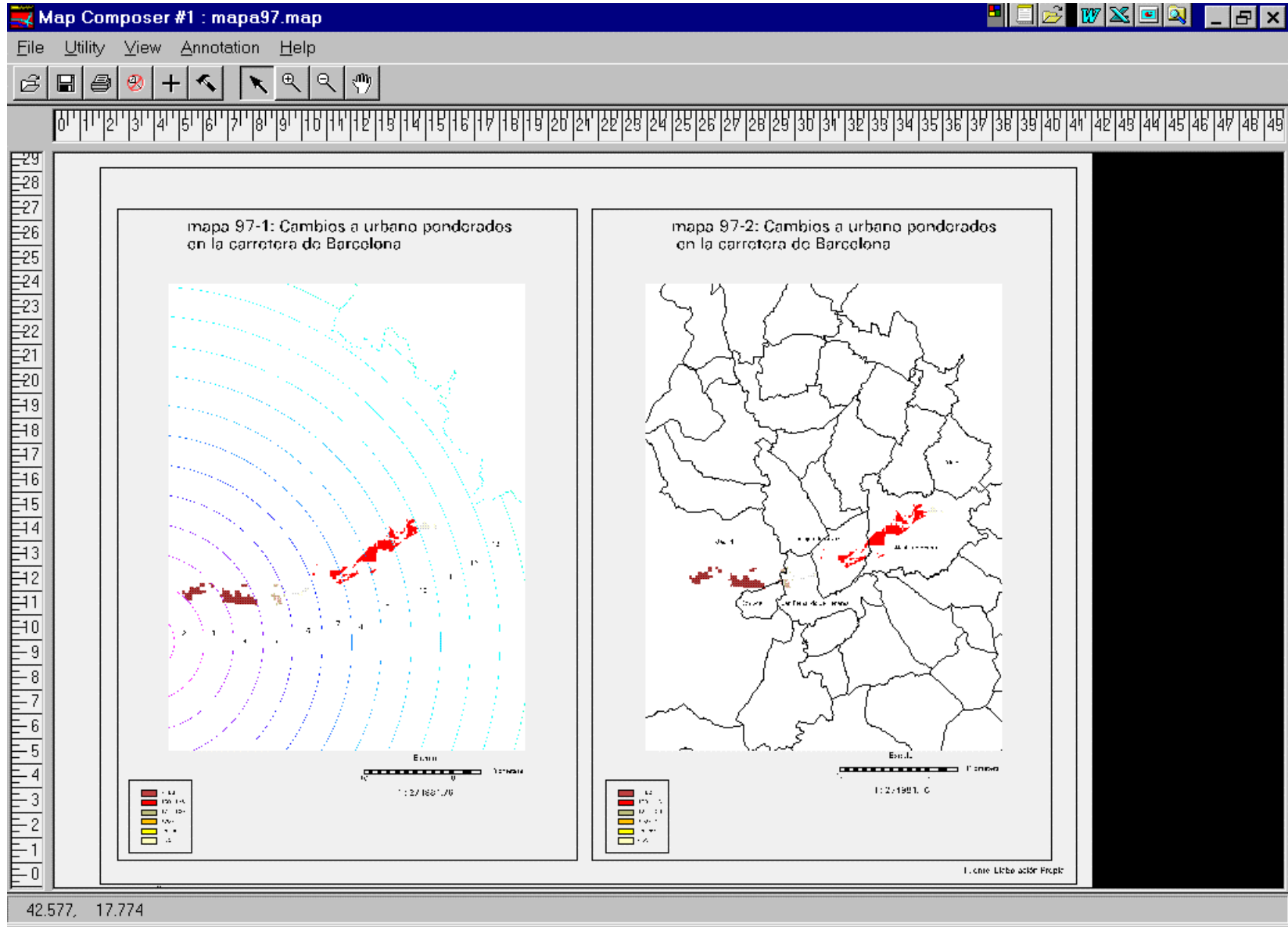


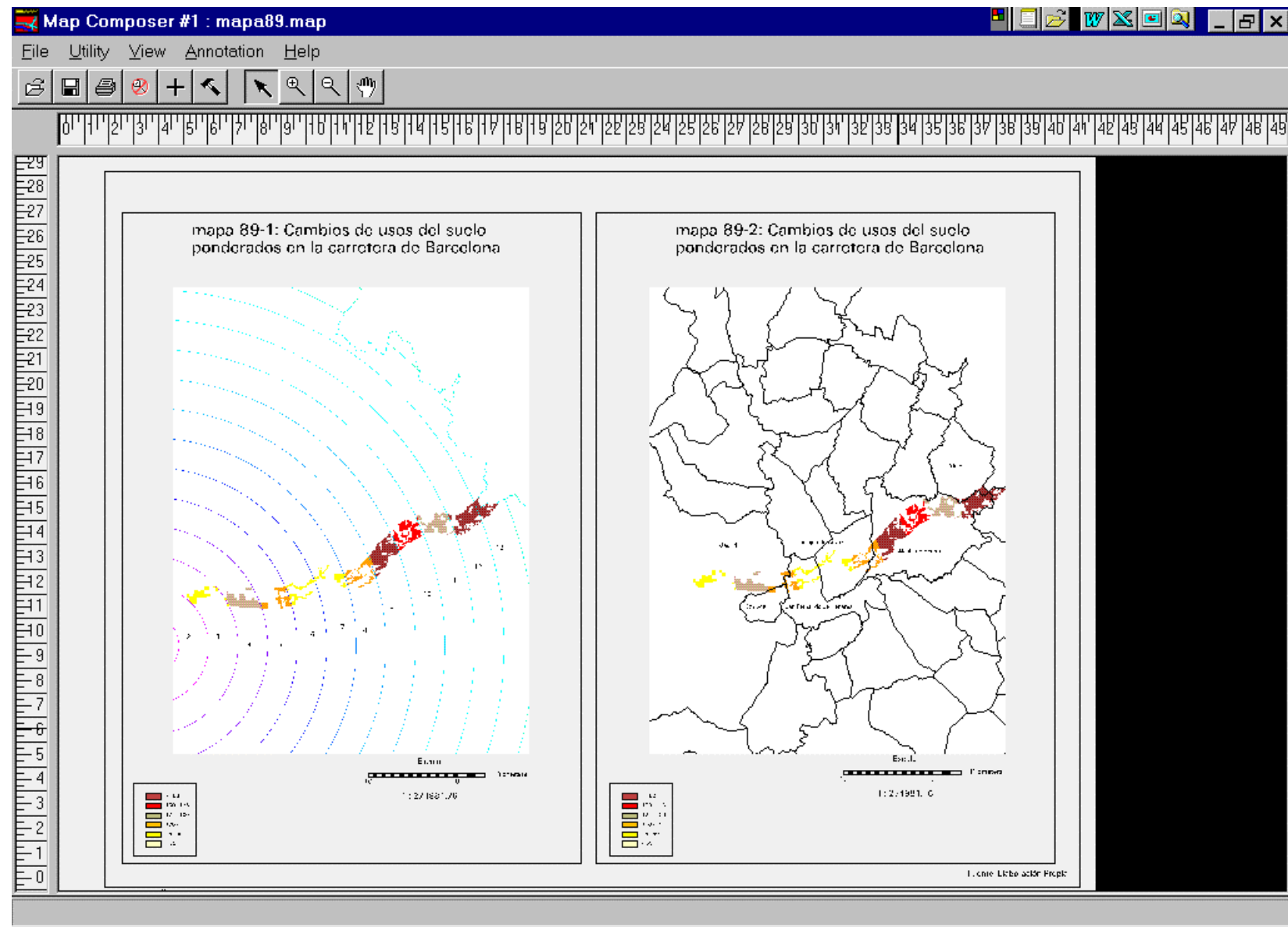


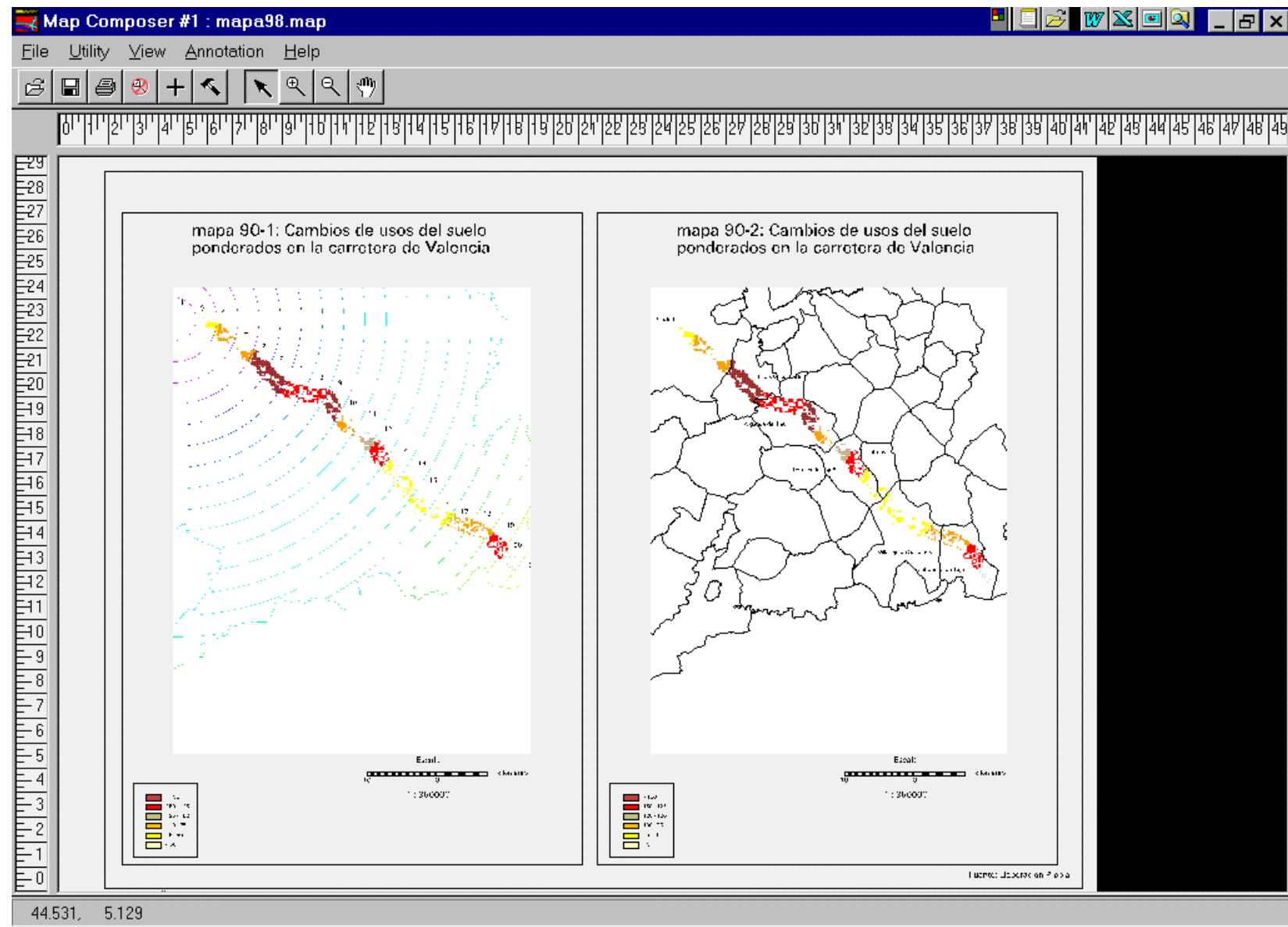


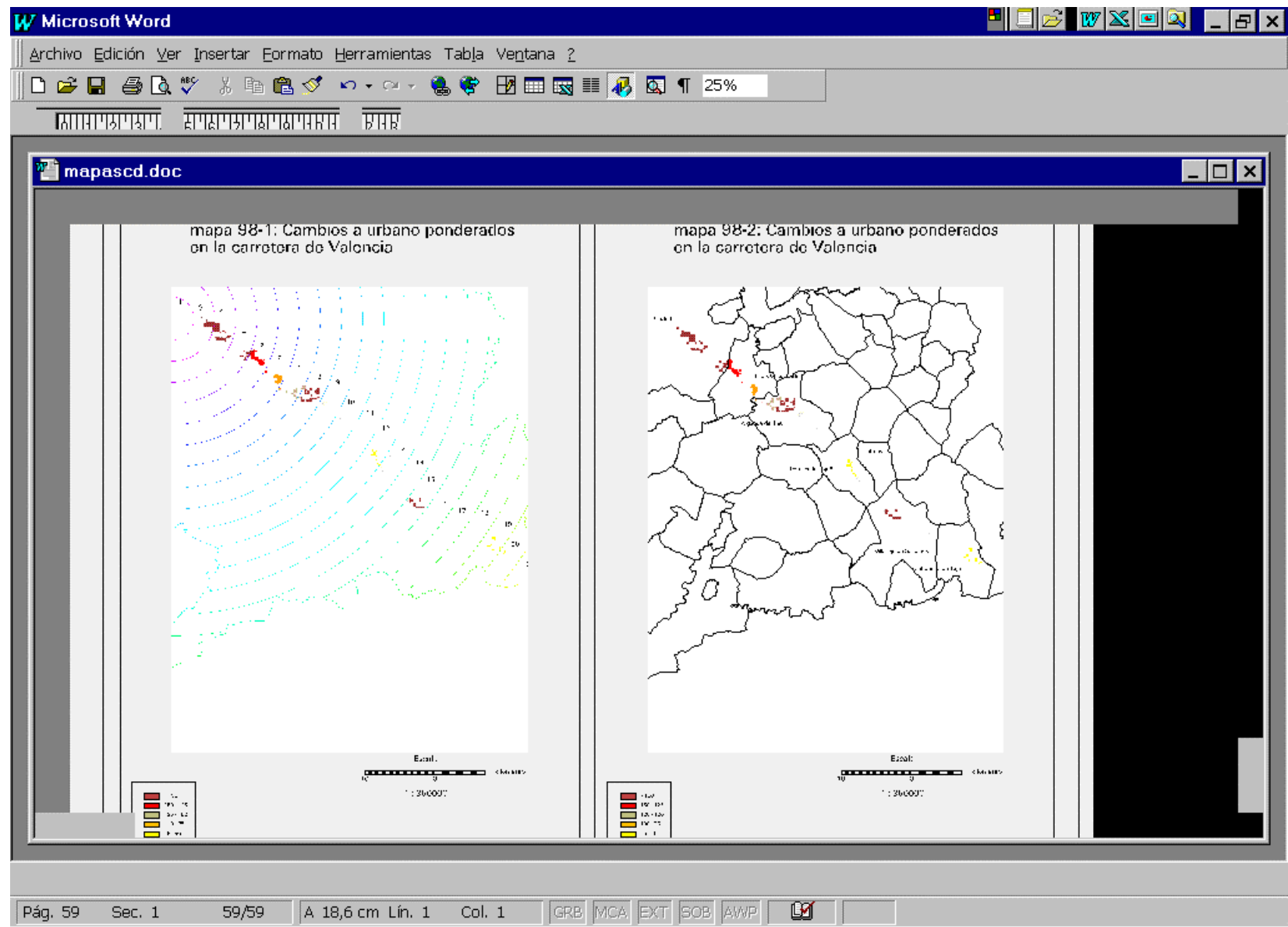


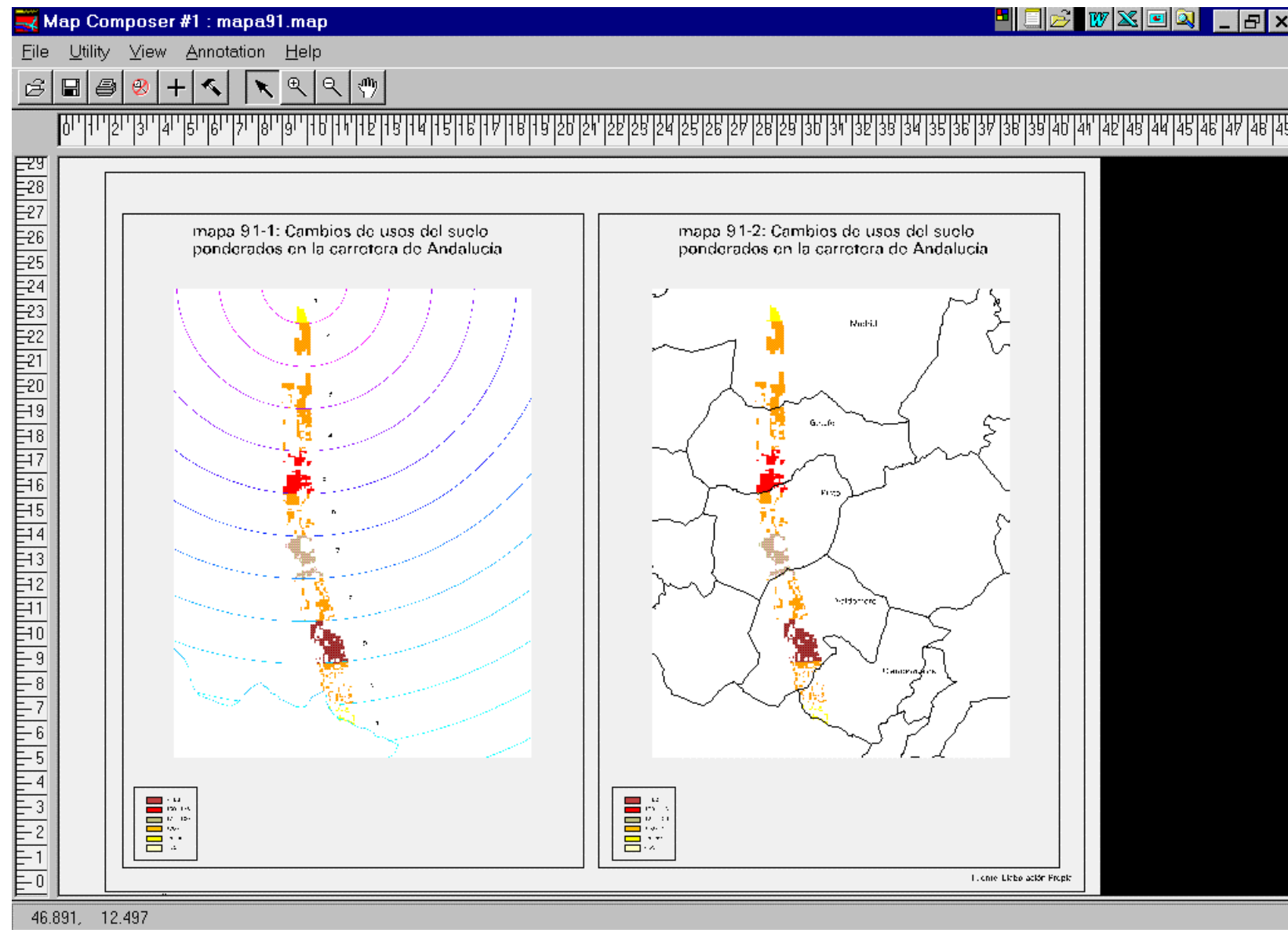


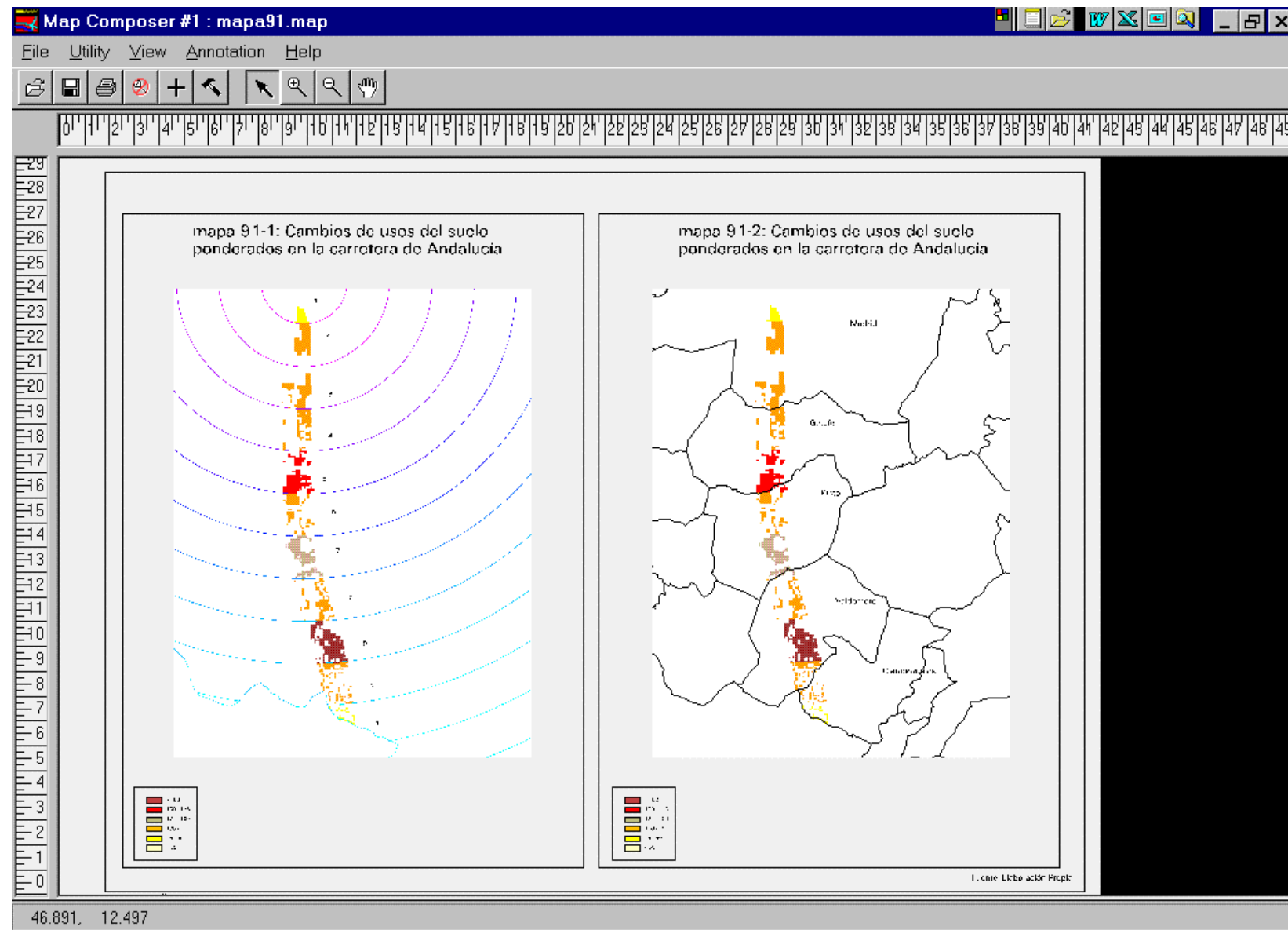


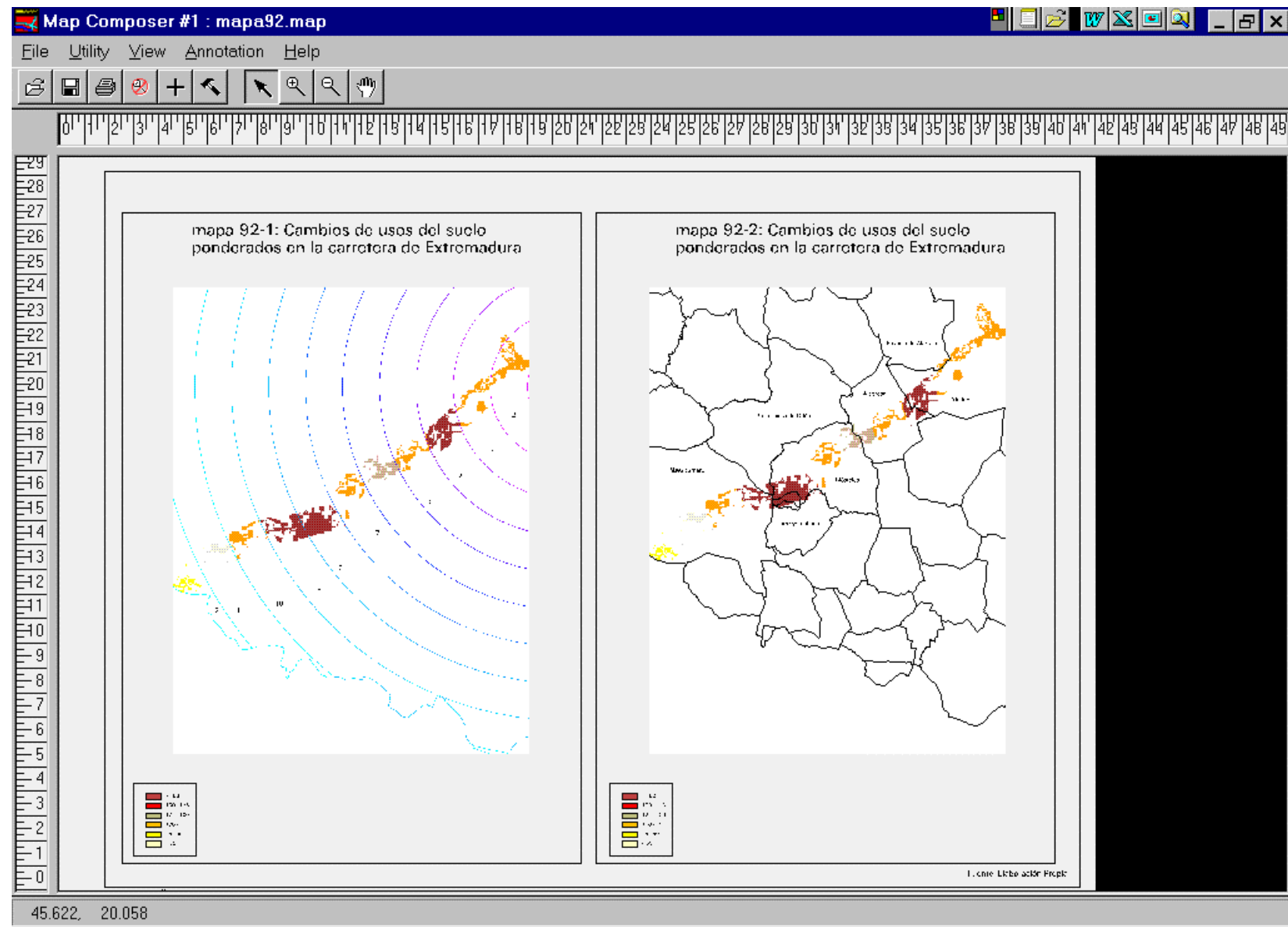


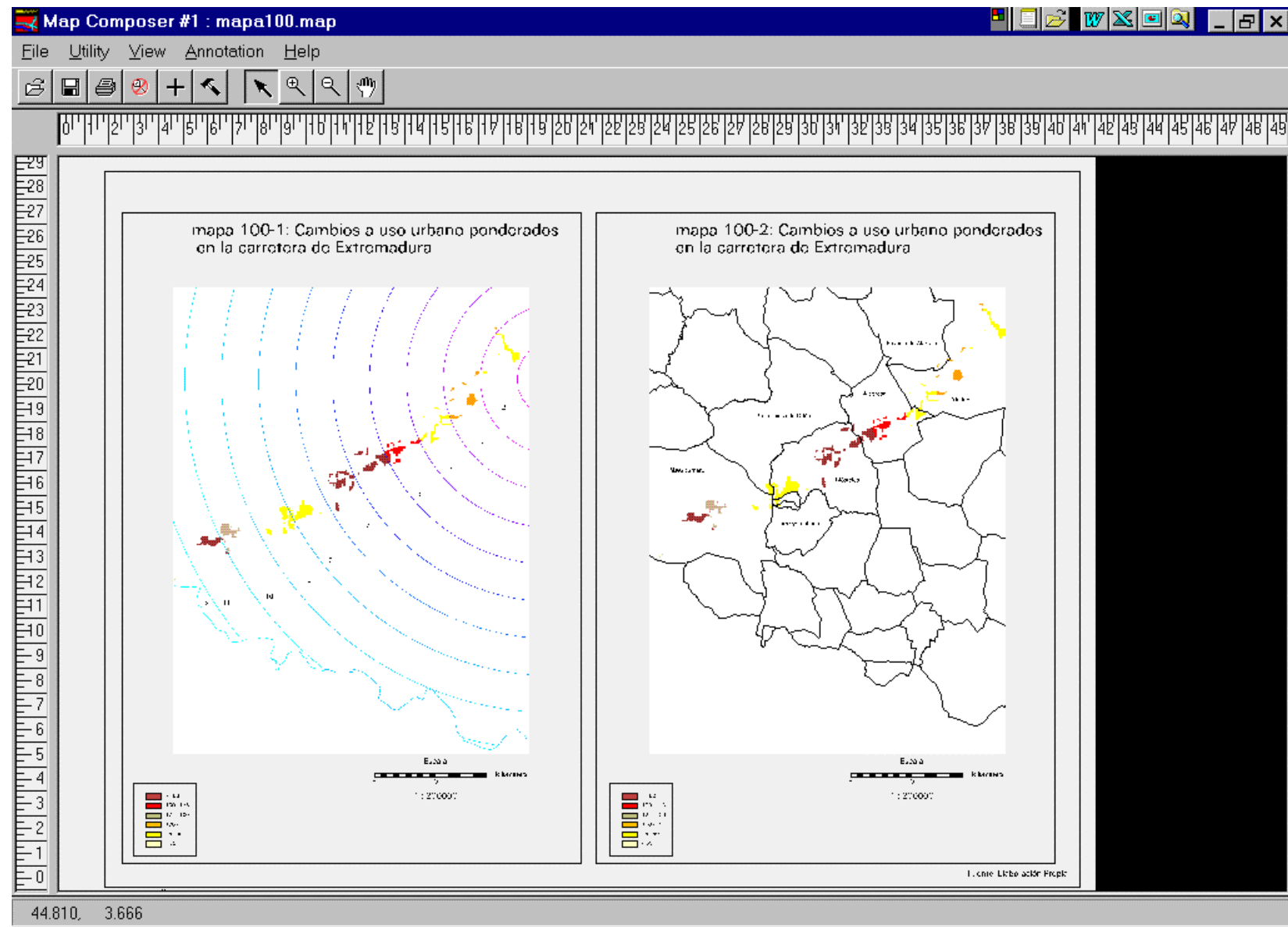


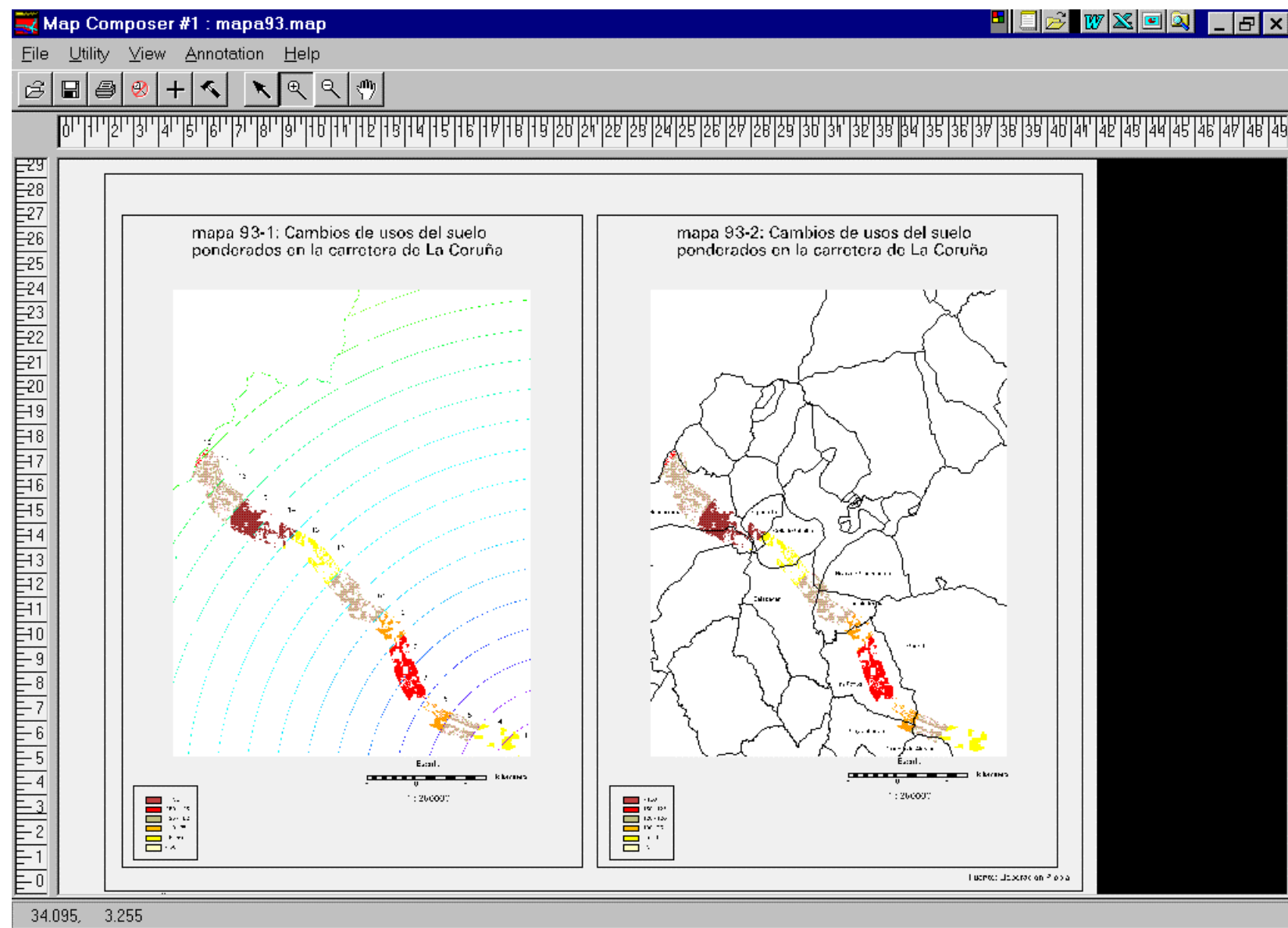


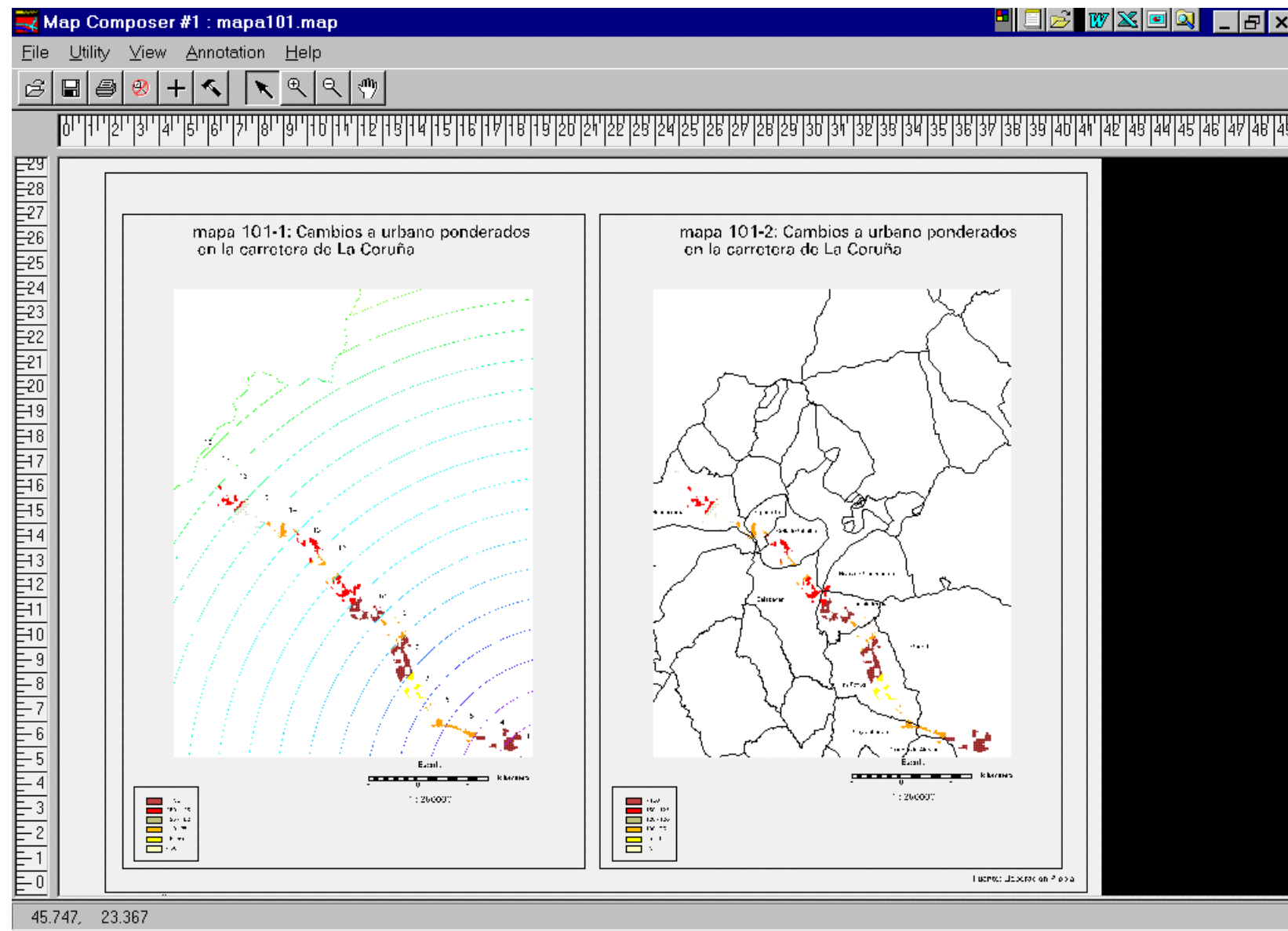




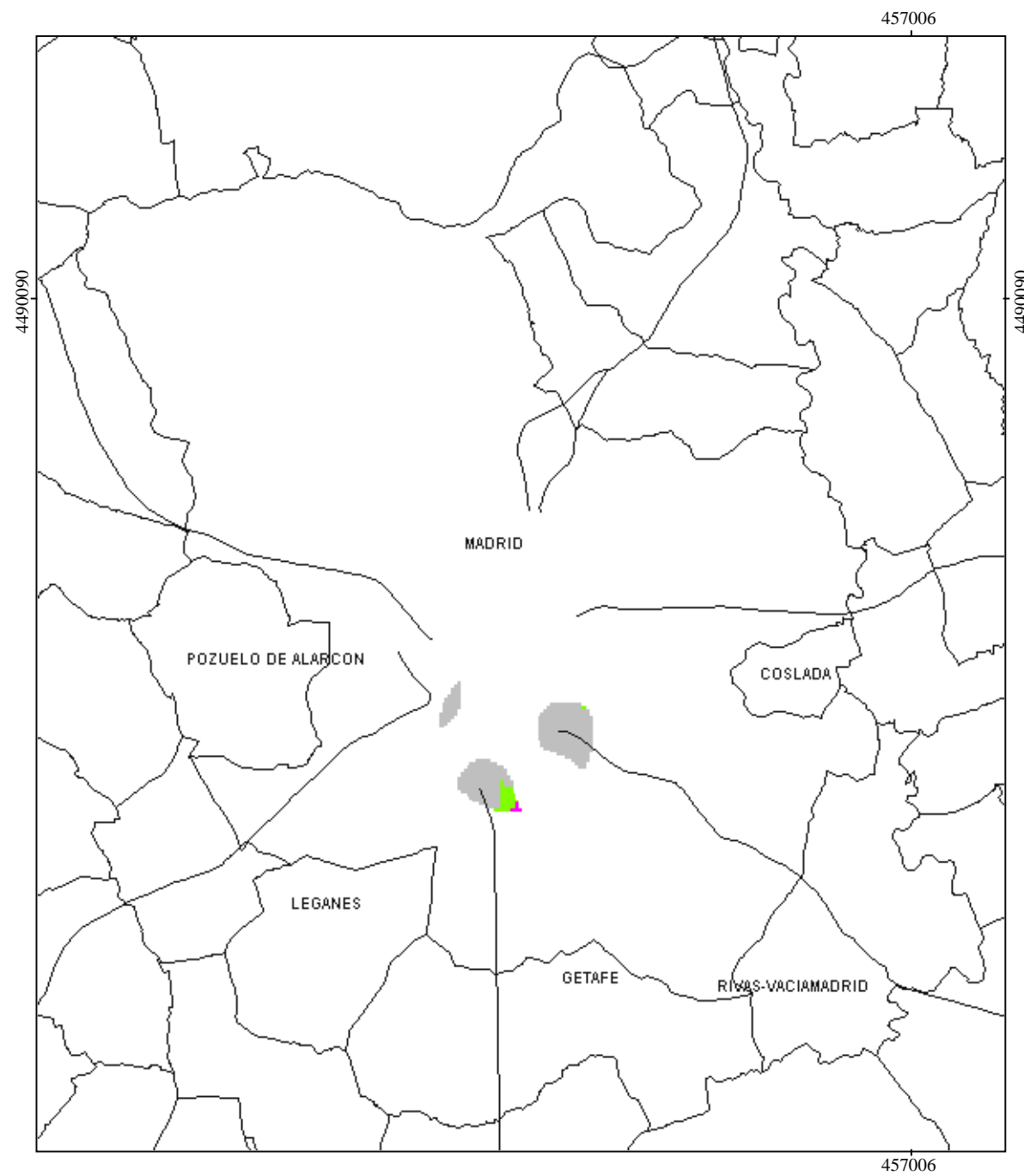






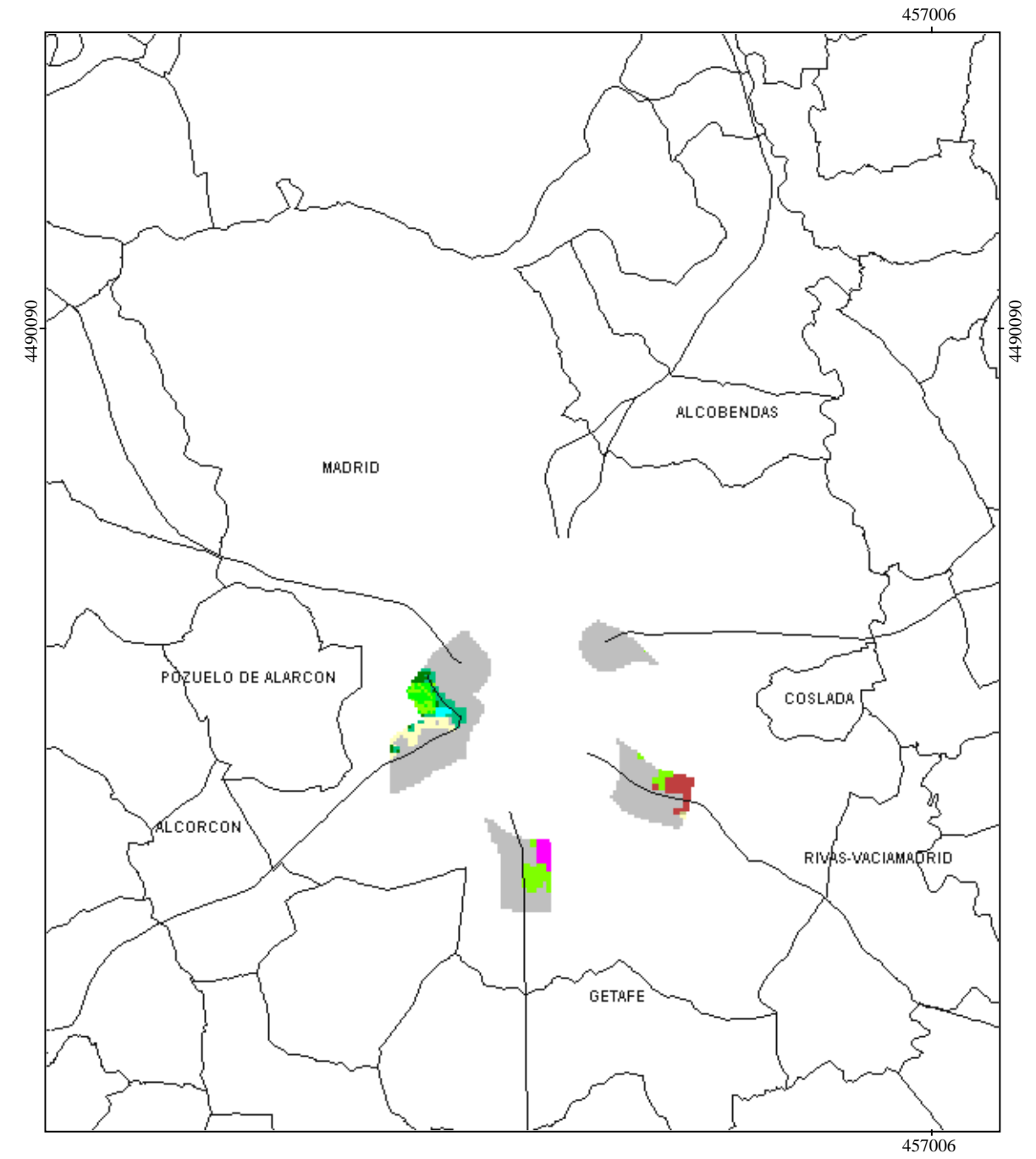


mapa 59: Usos Suelo Corona 1



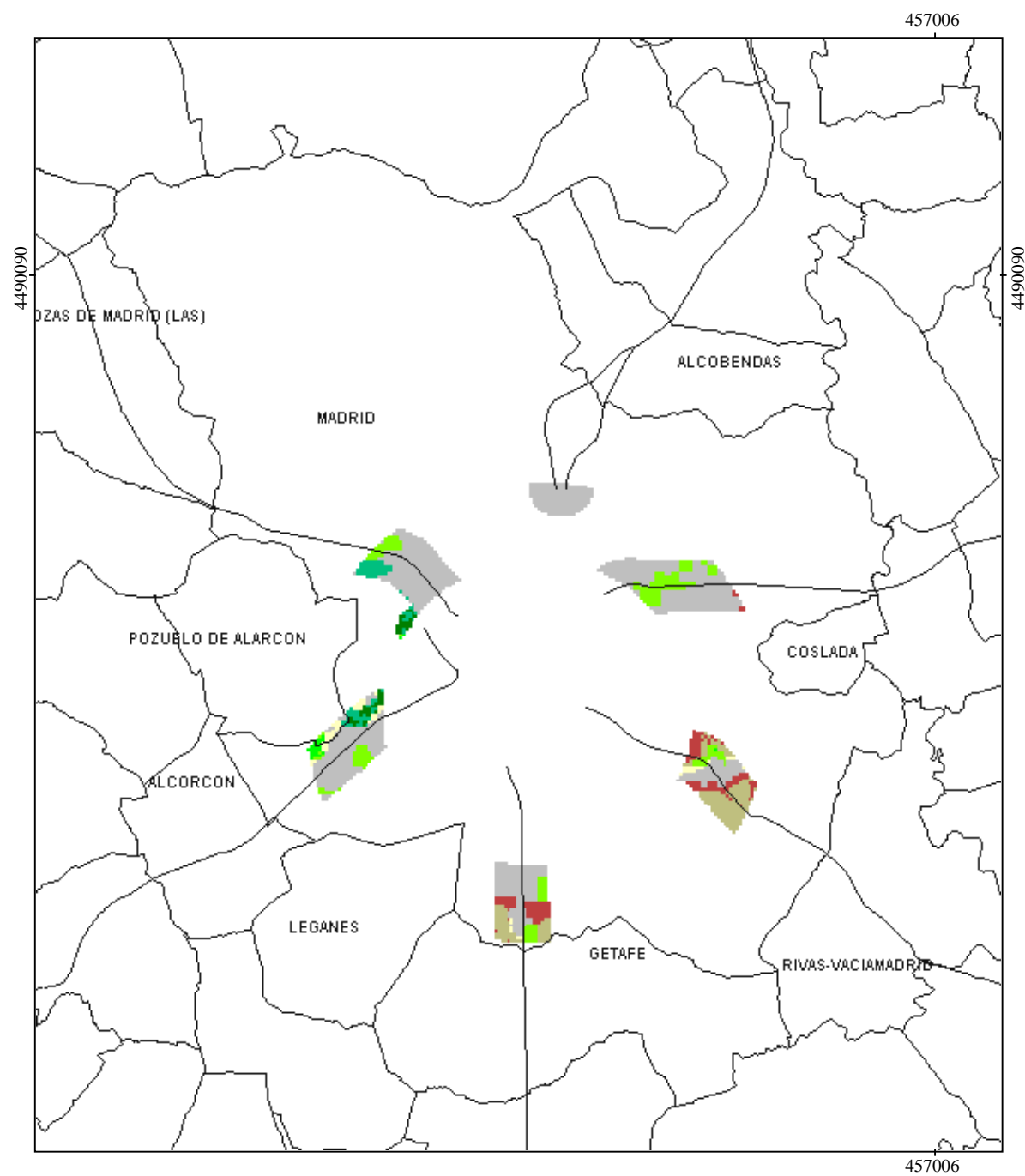
Escala 1:250000

mapa 60: Usos Suelo Corona 2



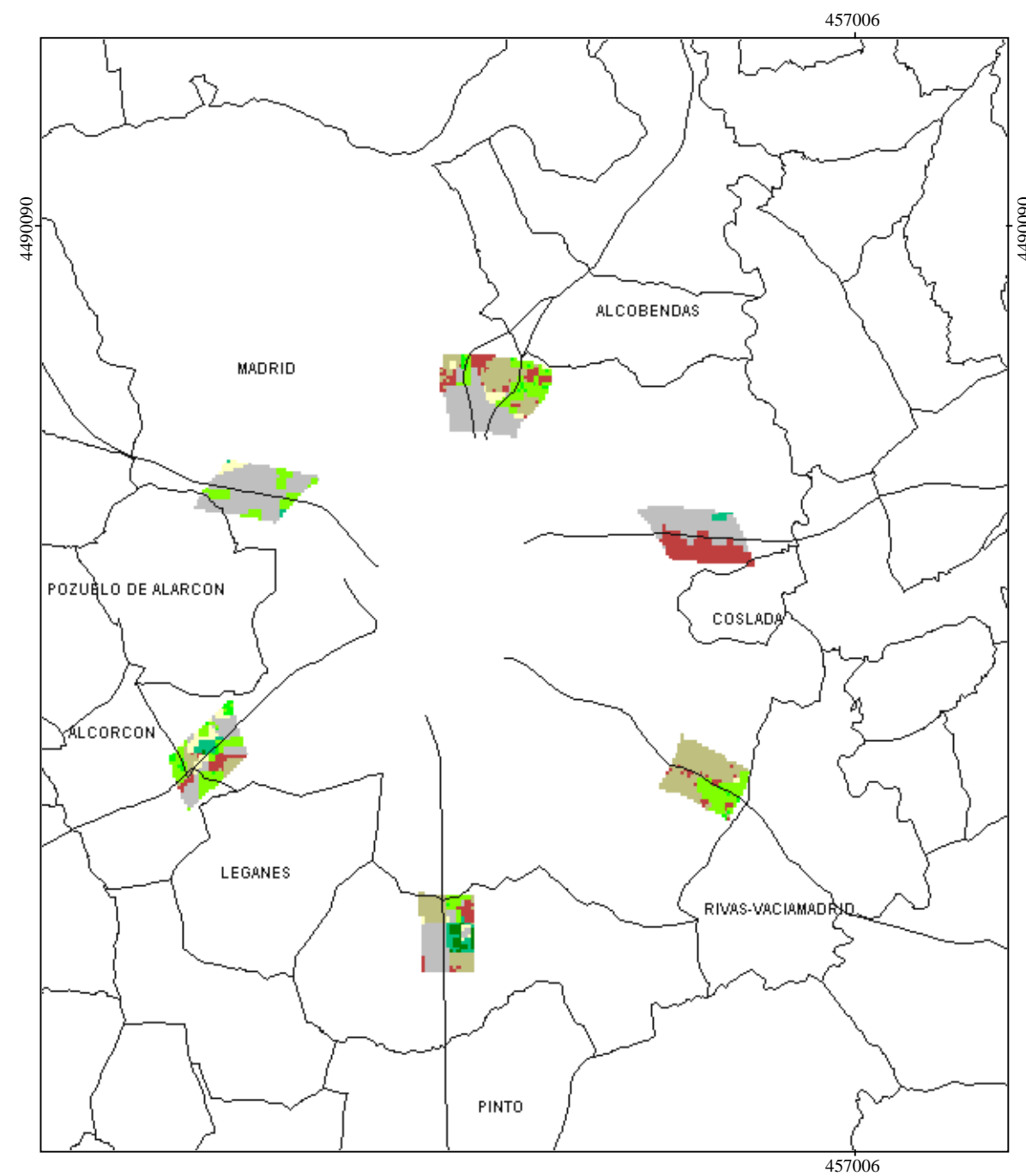
Escala 1:250000

mapa 61: Usos Suelo Corona 3



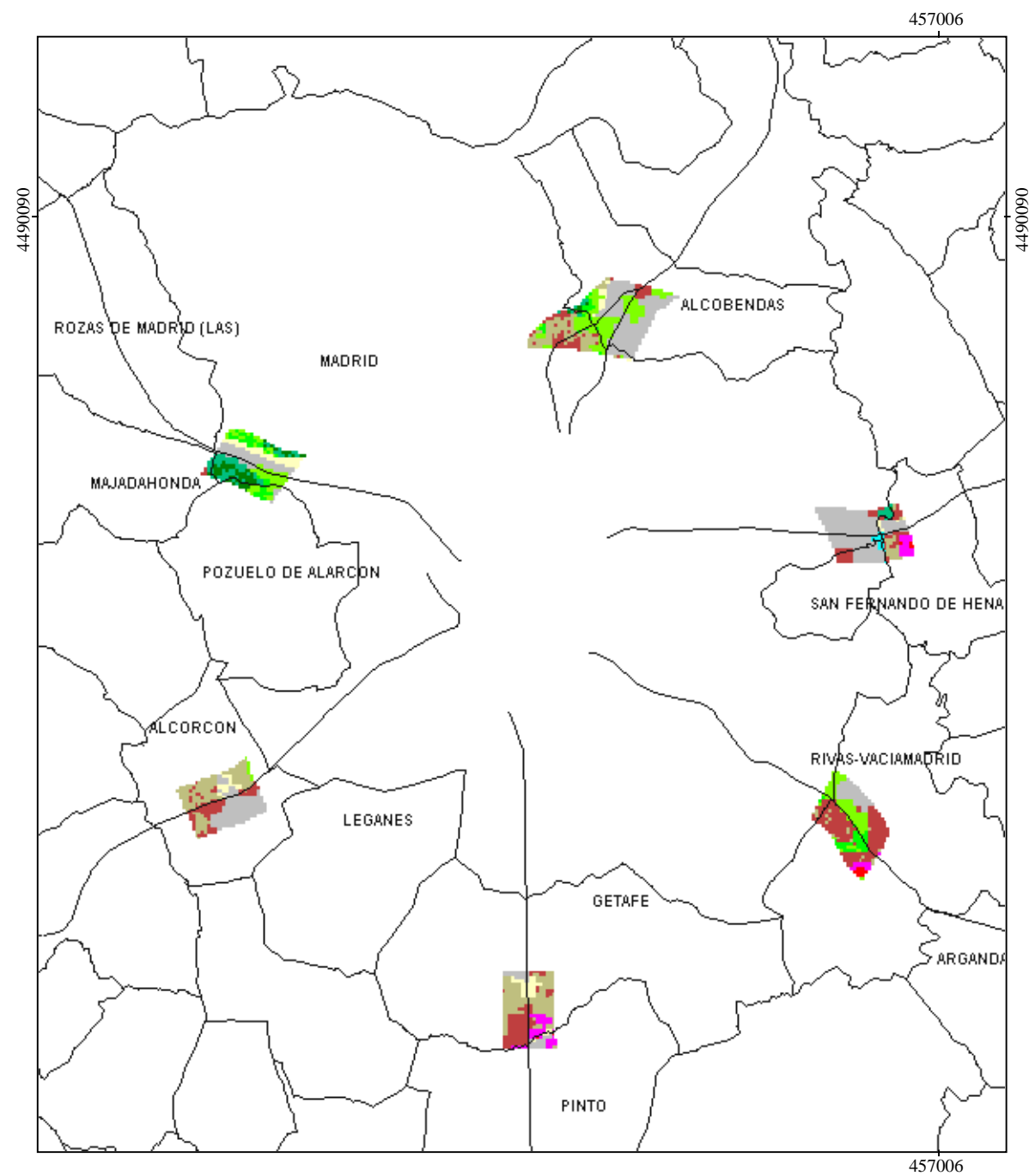
Escala 1:250000

mapa 62: Usos Suelo Corona 4



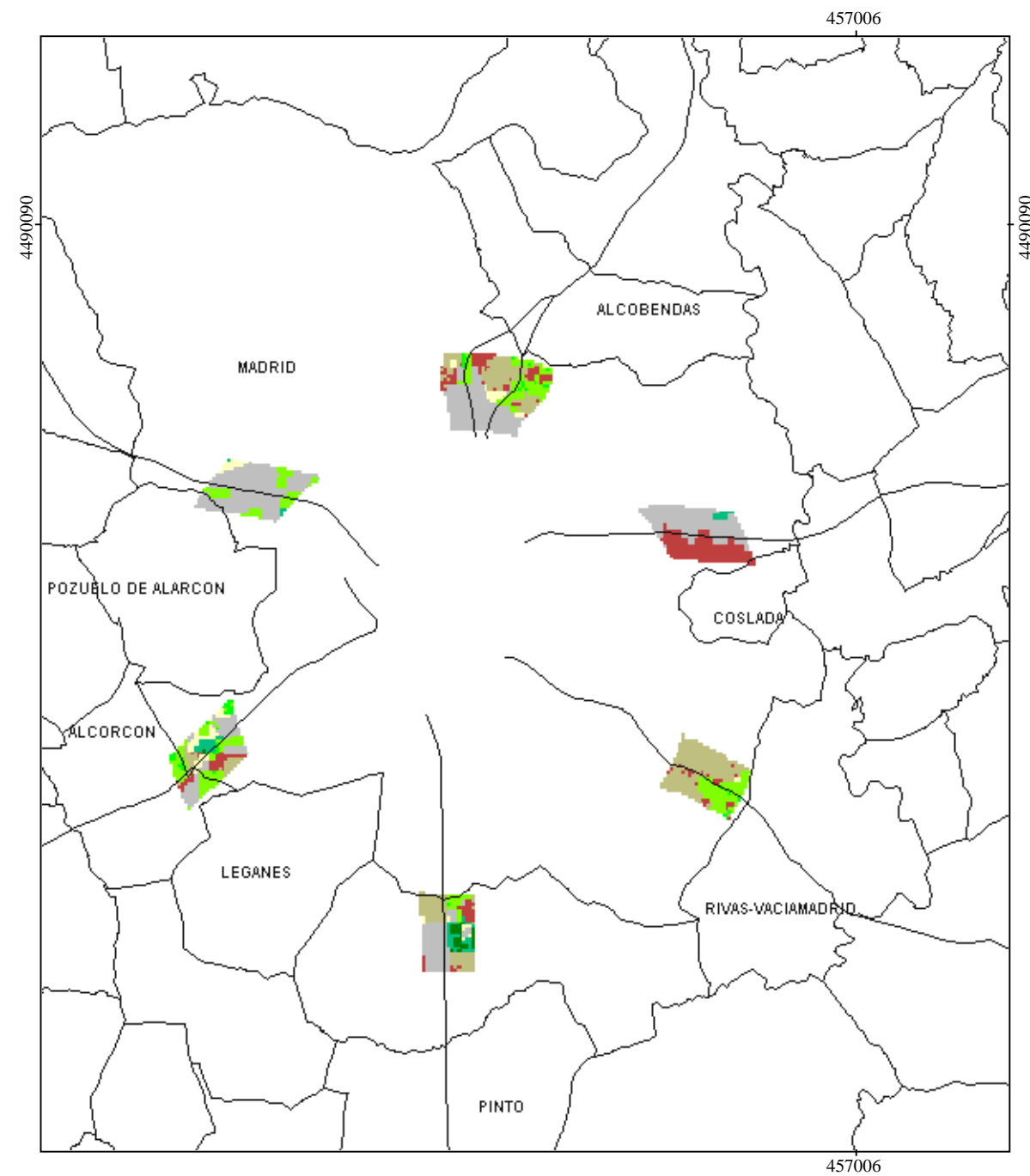
Escala 1:250000

mapa 63: Usos Suelo Corona 5



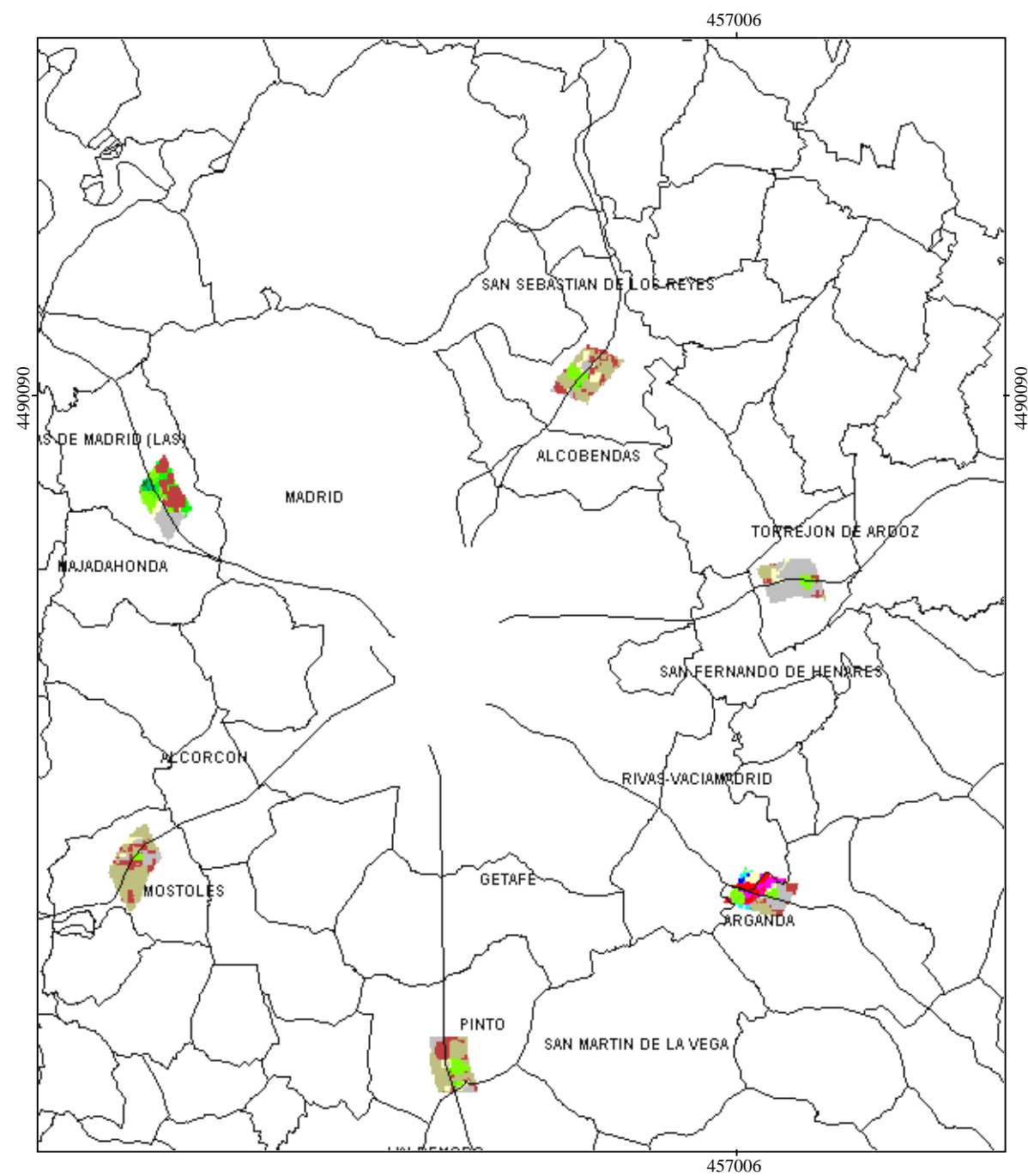
Escala 1:250000

mapa 62: Usos Suelo Corona 4



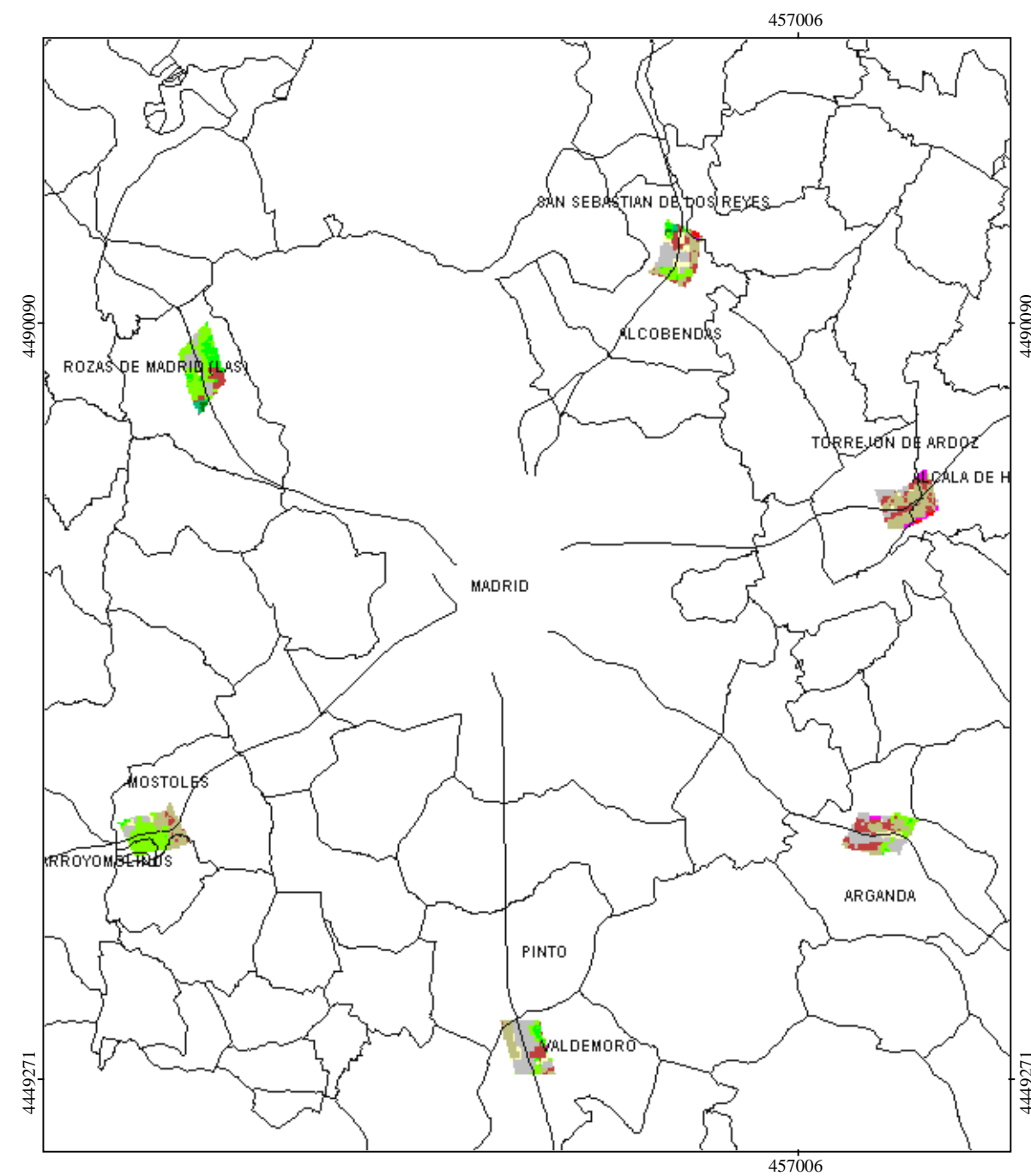
Escala 1:250000

mapa 65: Usos Suelo Corona 7



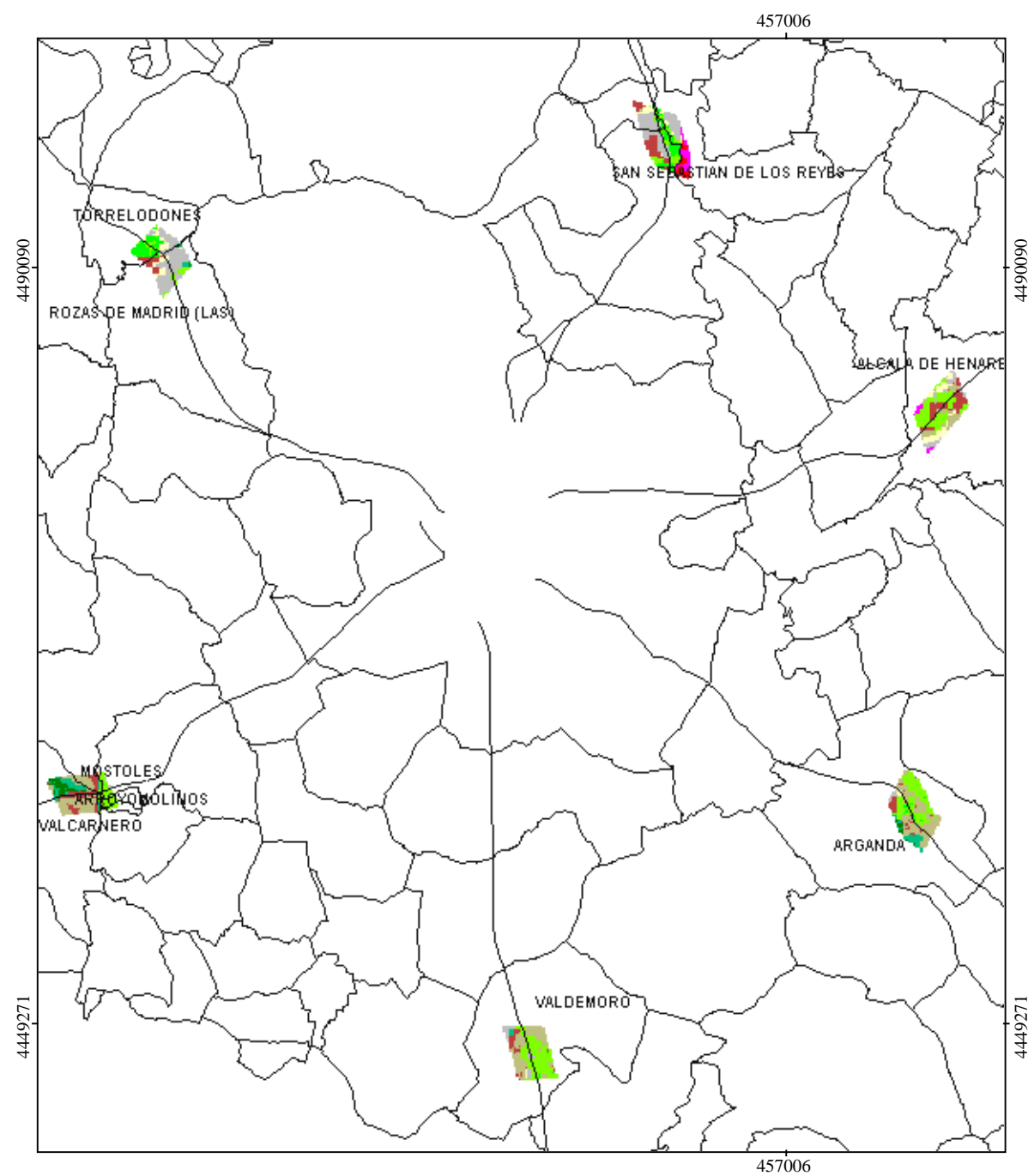
Escala 1:350000

mapa 66: Usos Suelo Corona 8



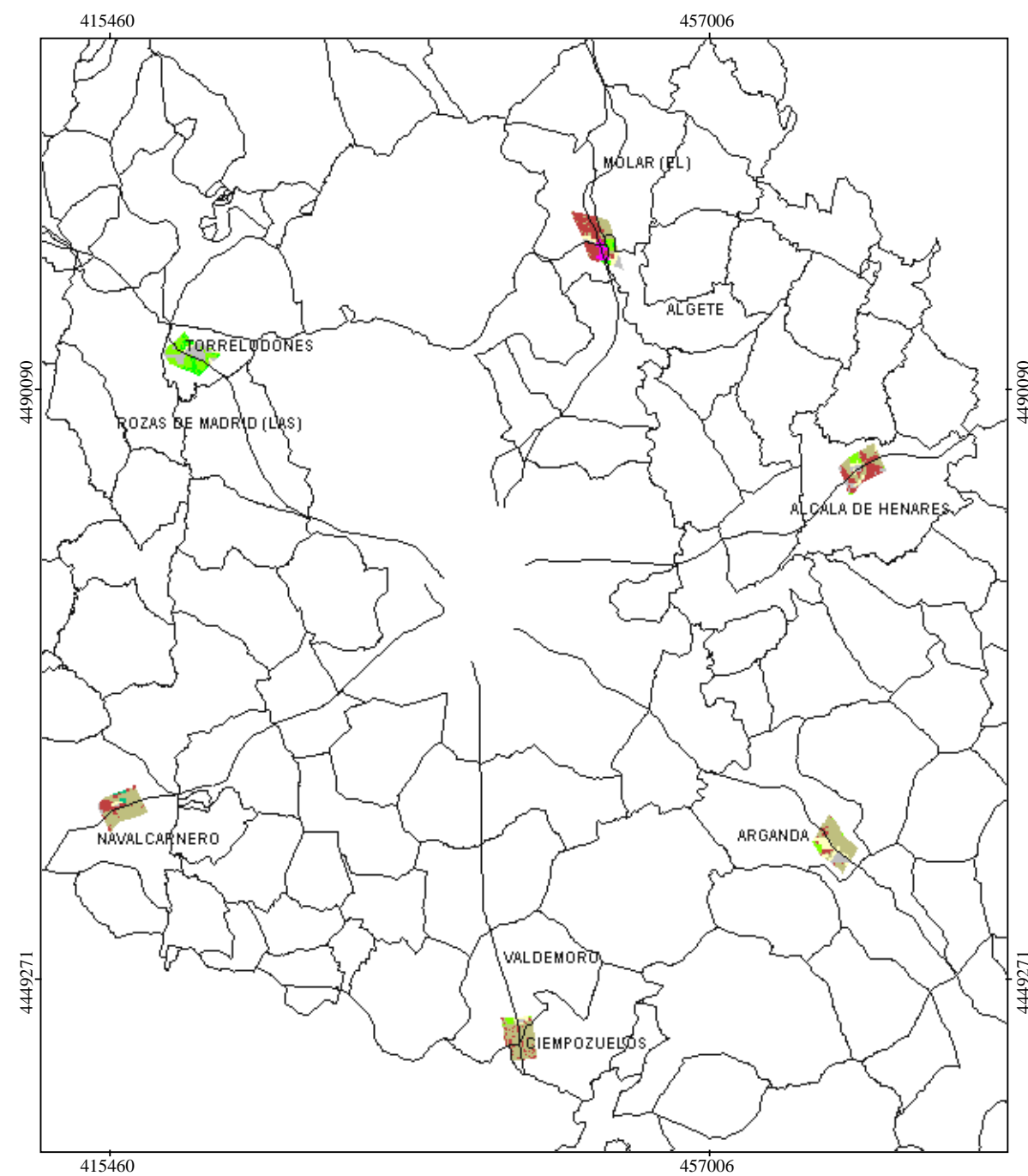
Escala 1:350000

mapa 67: Usos Suelo Corona 9



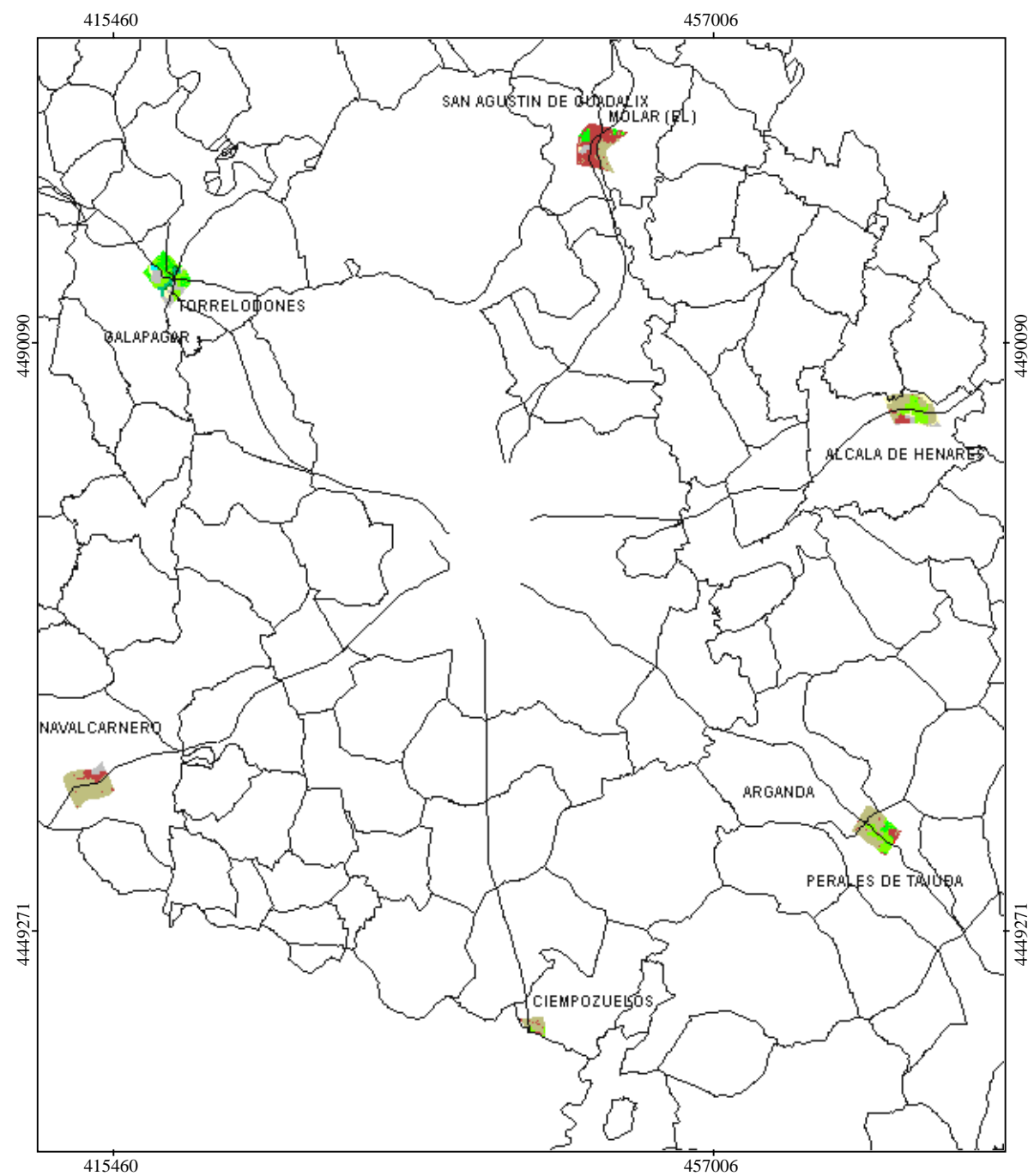
Escala 1:350000

mapa 68: Usos Suelo Corona 10



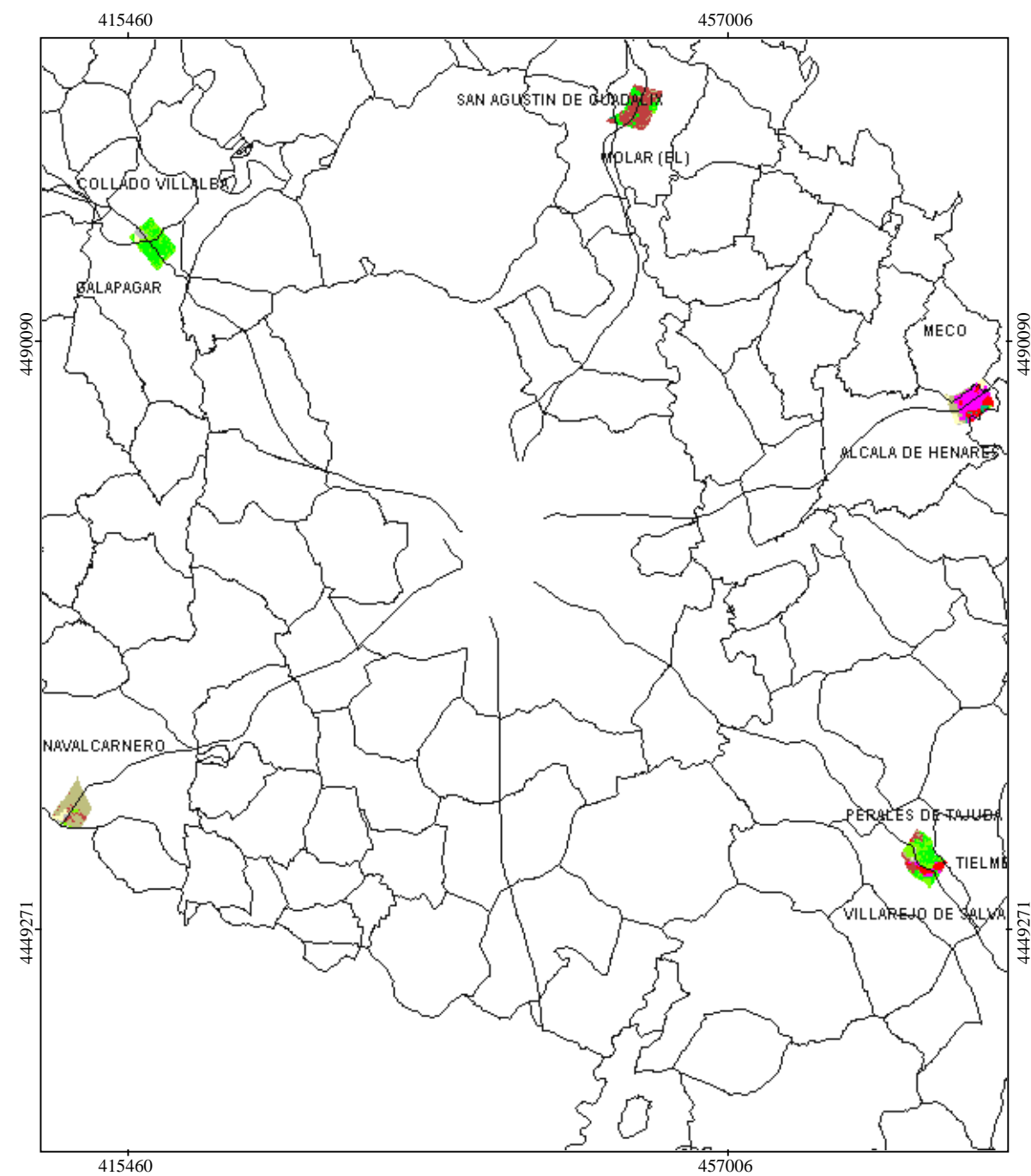
Escala 1:450000

mapa 69: Usos Suelo Corona 11



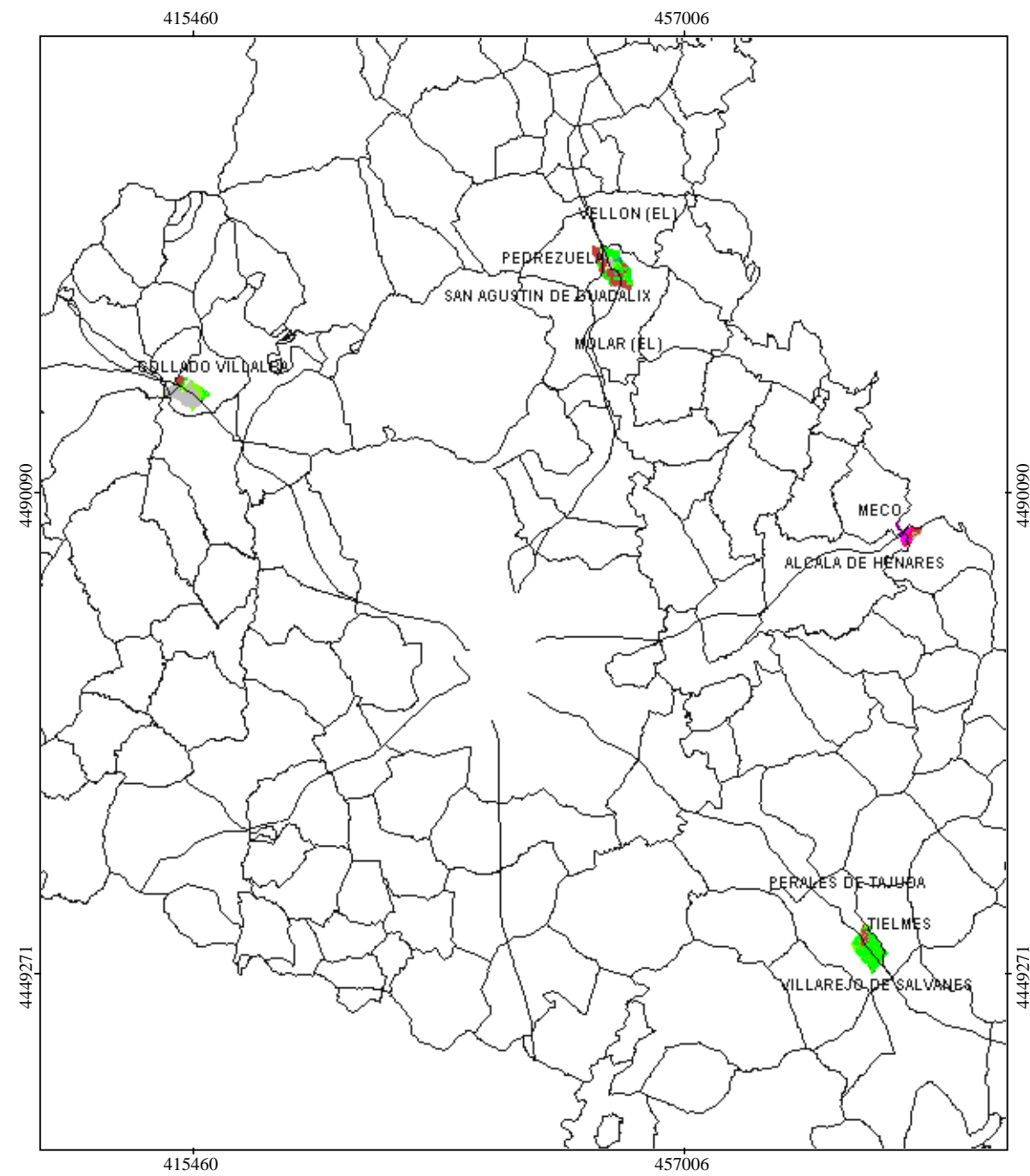
Escala 1:450000

mapa 70: Usos Suelo Corona 12



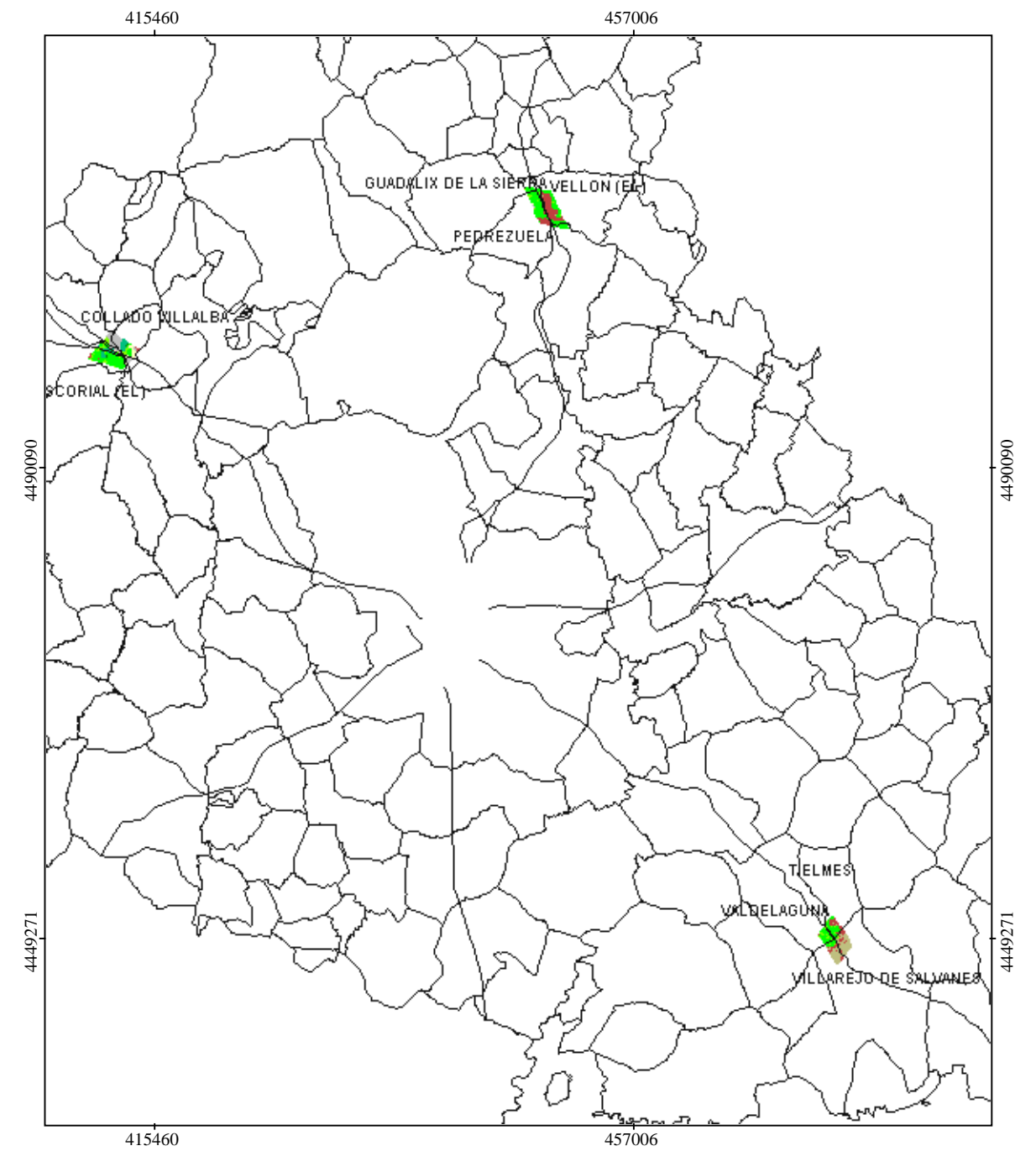
Escala 1:450000

mapa 71: Usos Suelo Corona 13



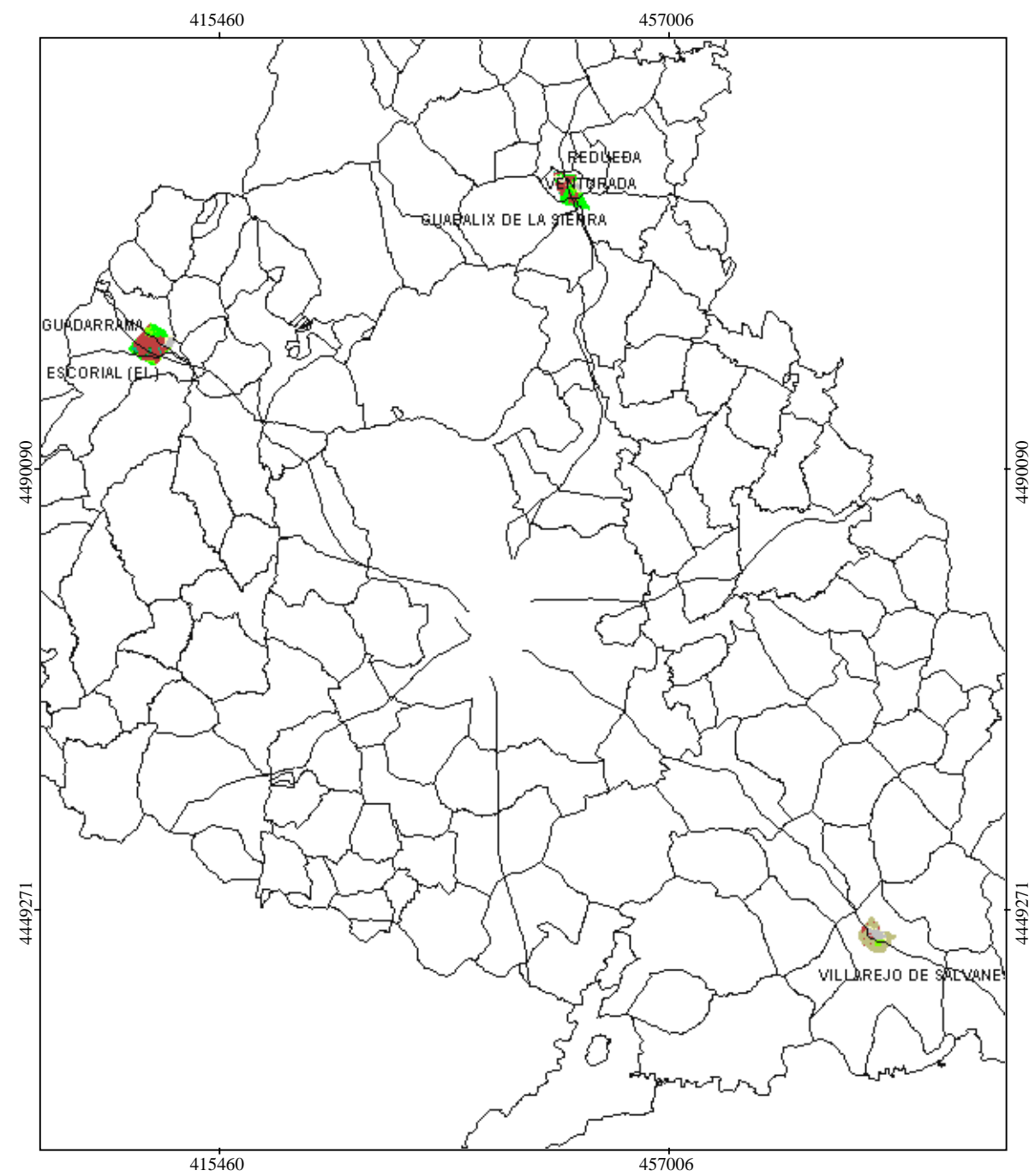
Escala 1:550000

mapa 72: Usos Suelo Corona 14



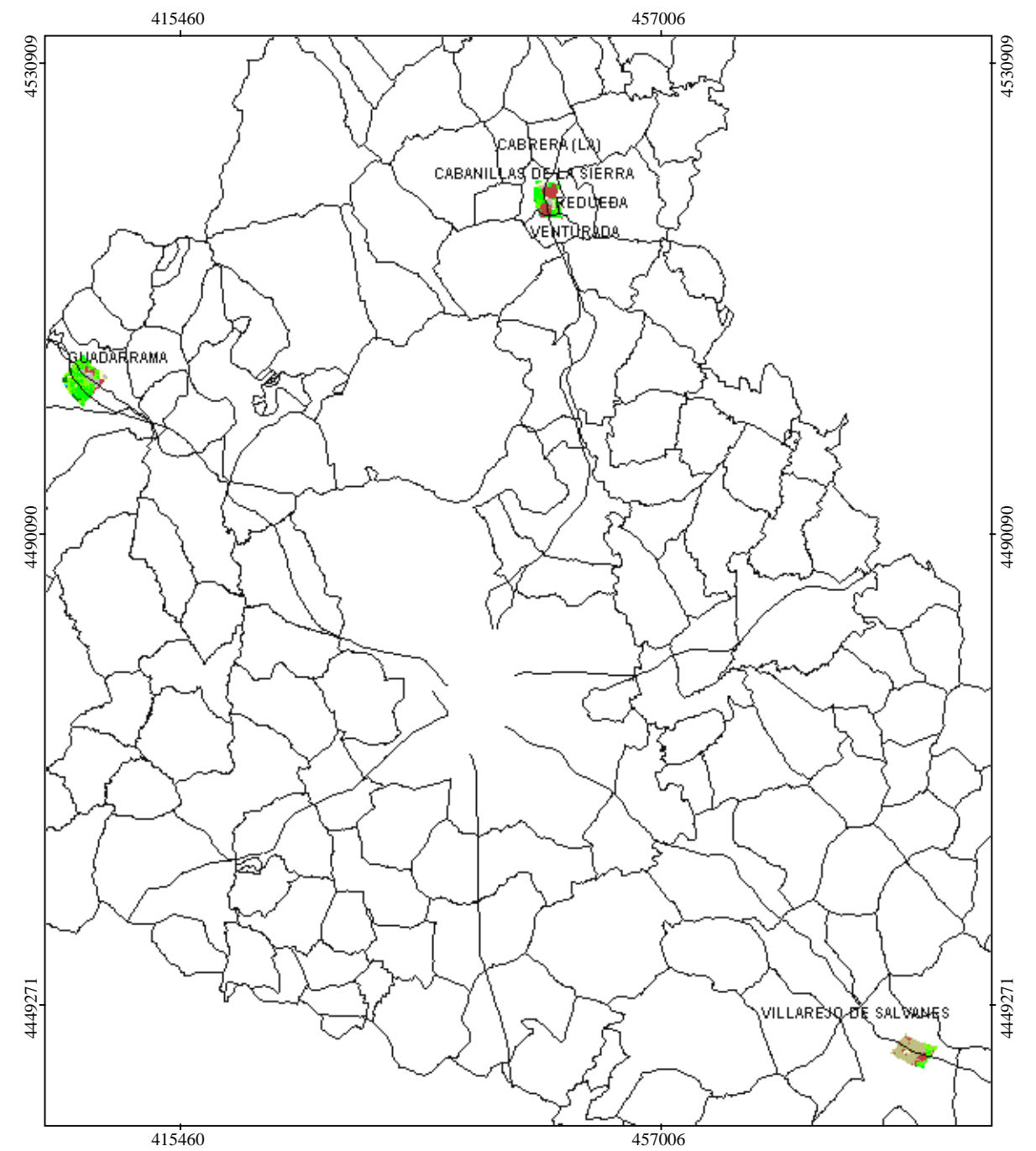
Escala 1:550000

mapa 73: Usos Suelo Corona 15



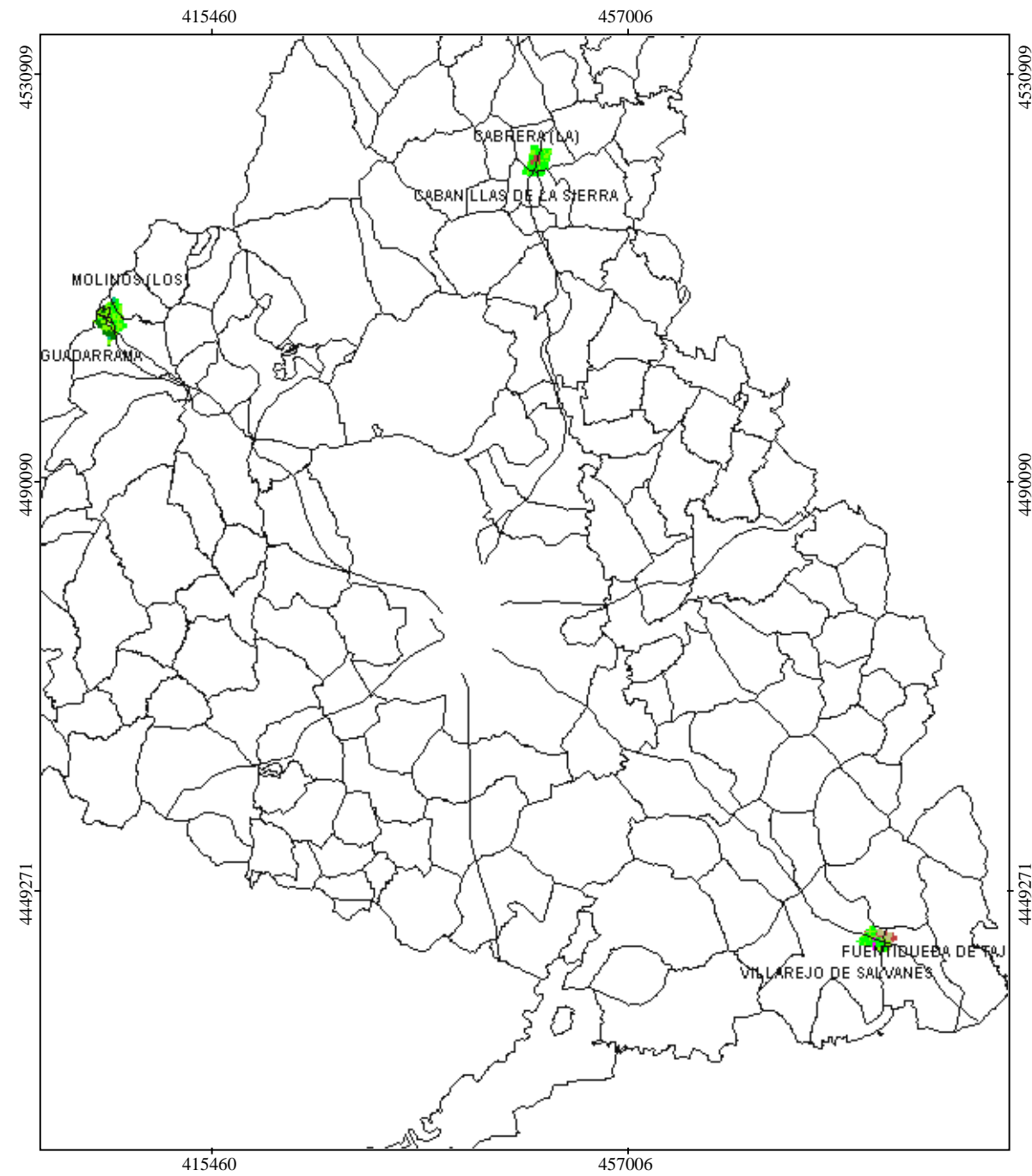
Escala 1:600000

mapa 74: Usos Suelo Corona 16



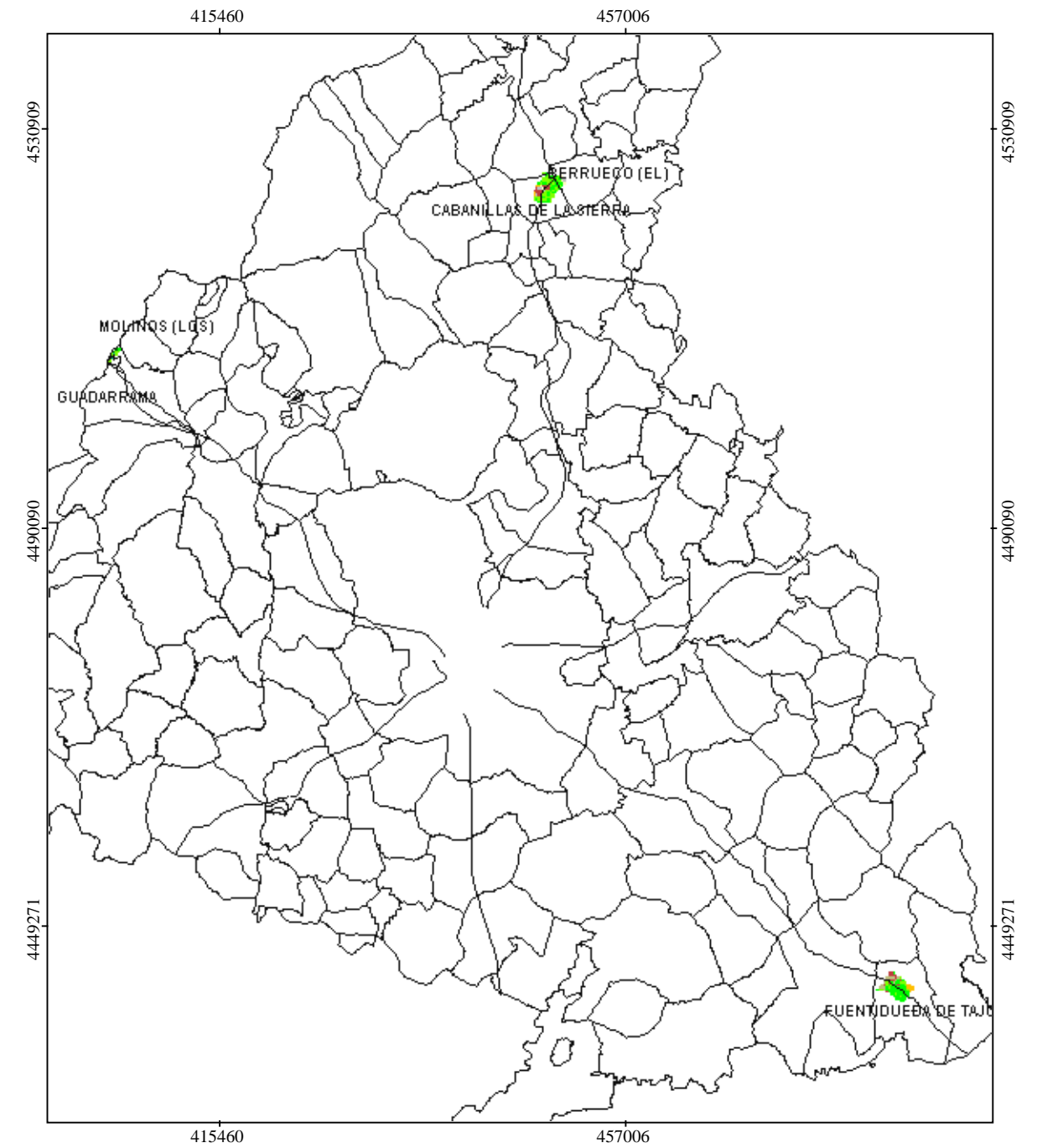
Escala 1:550000

mapa 75: Usos Suelo Corona 17



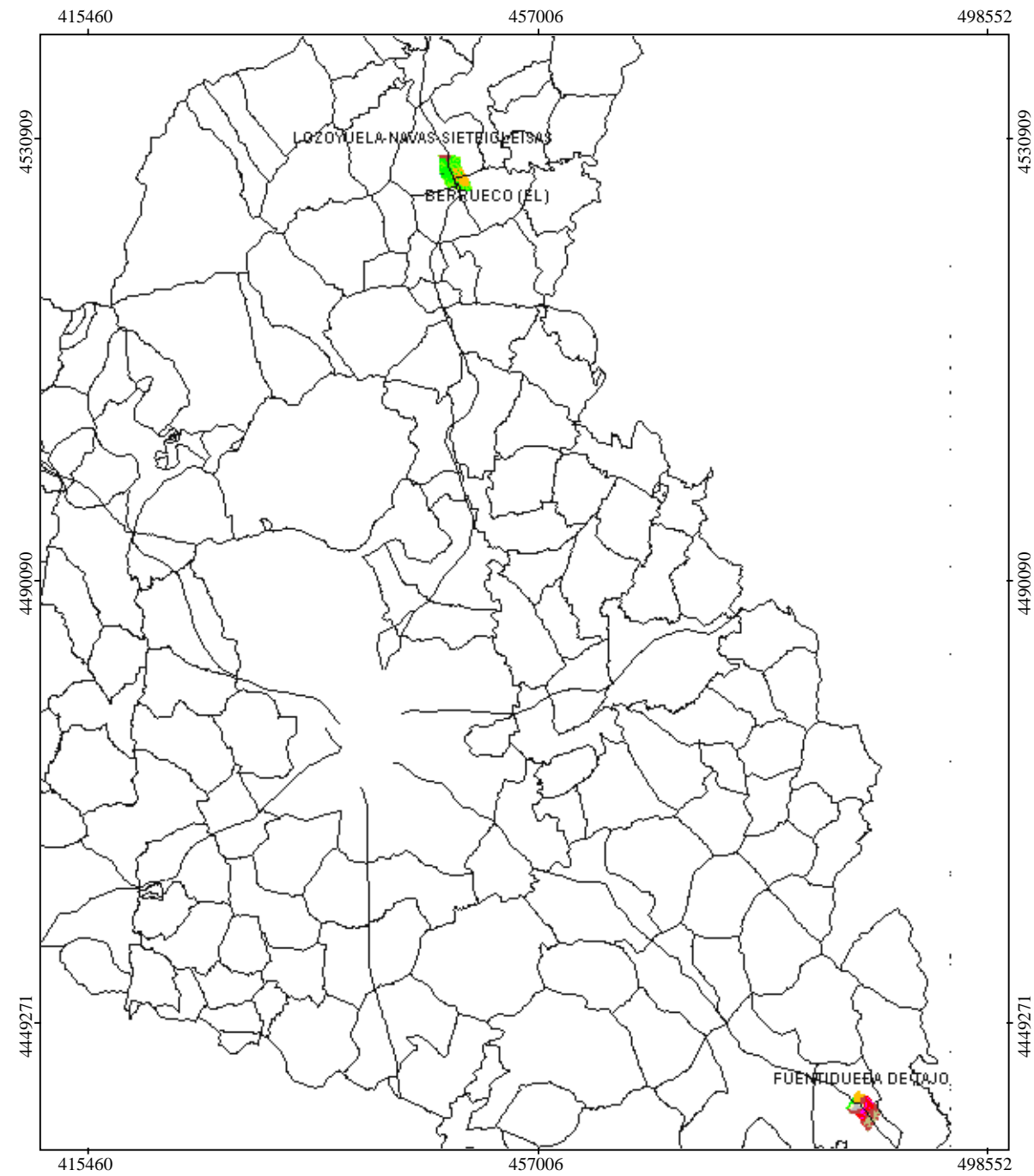
Escala 1:650000

mapa 76: Usos Suelo Corona 18



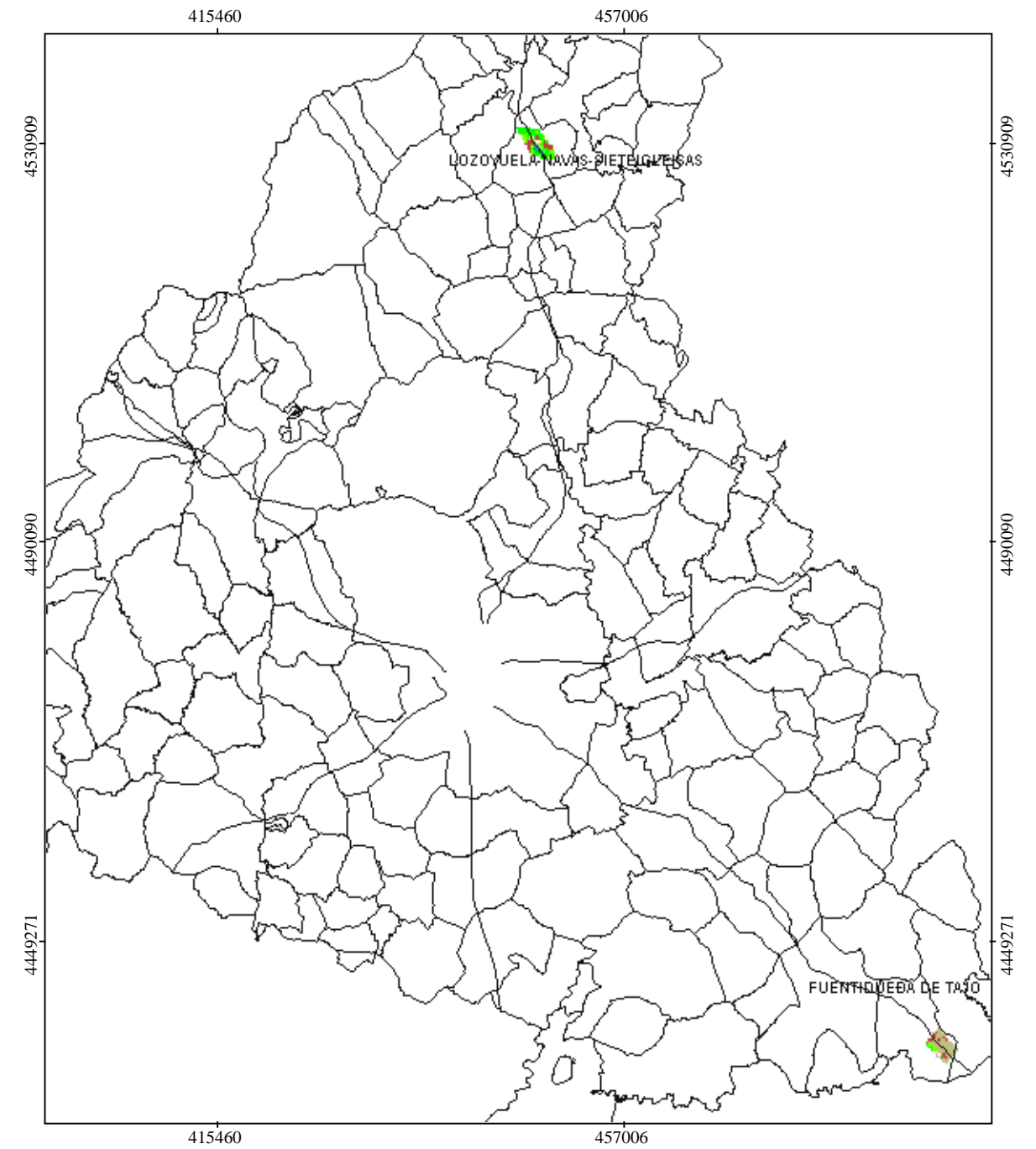
Escala 1:650000

mapa 77: Usos Suelo Corona 19



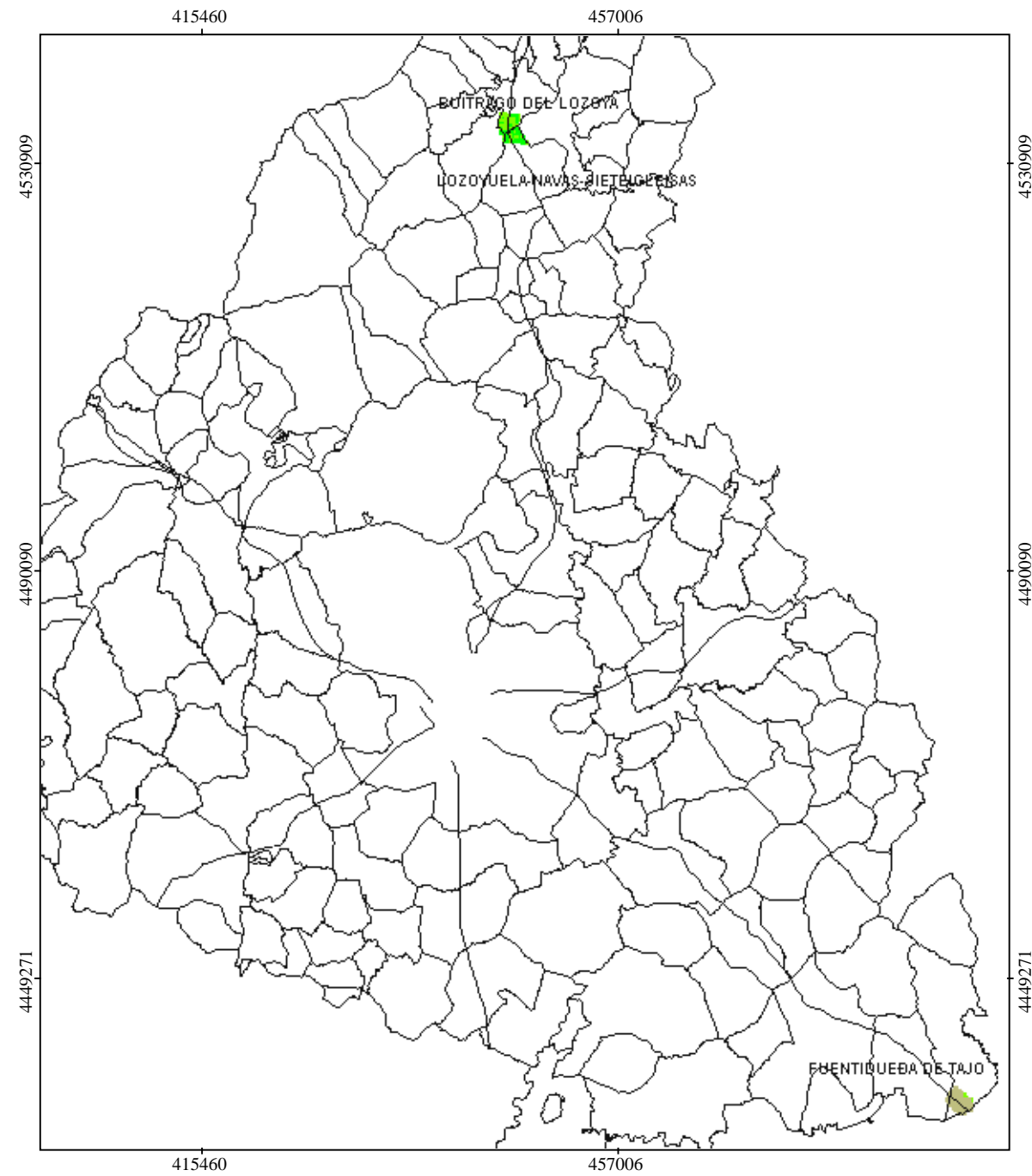
Escala 1:600000

mapa 78: Usos Suelo Corona 20



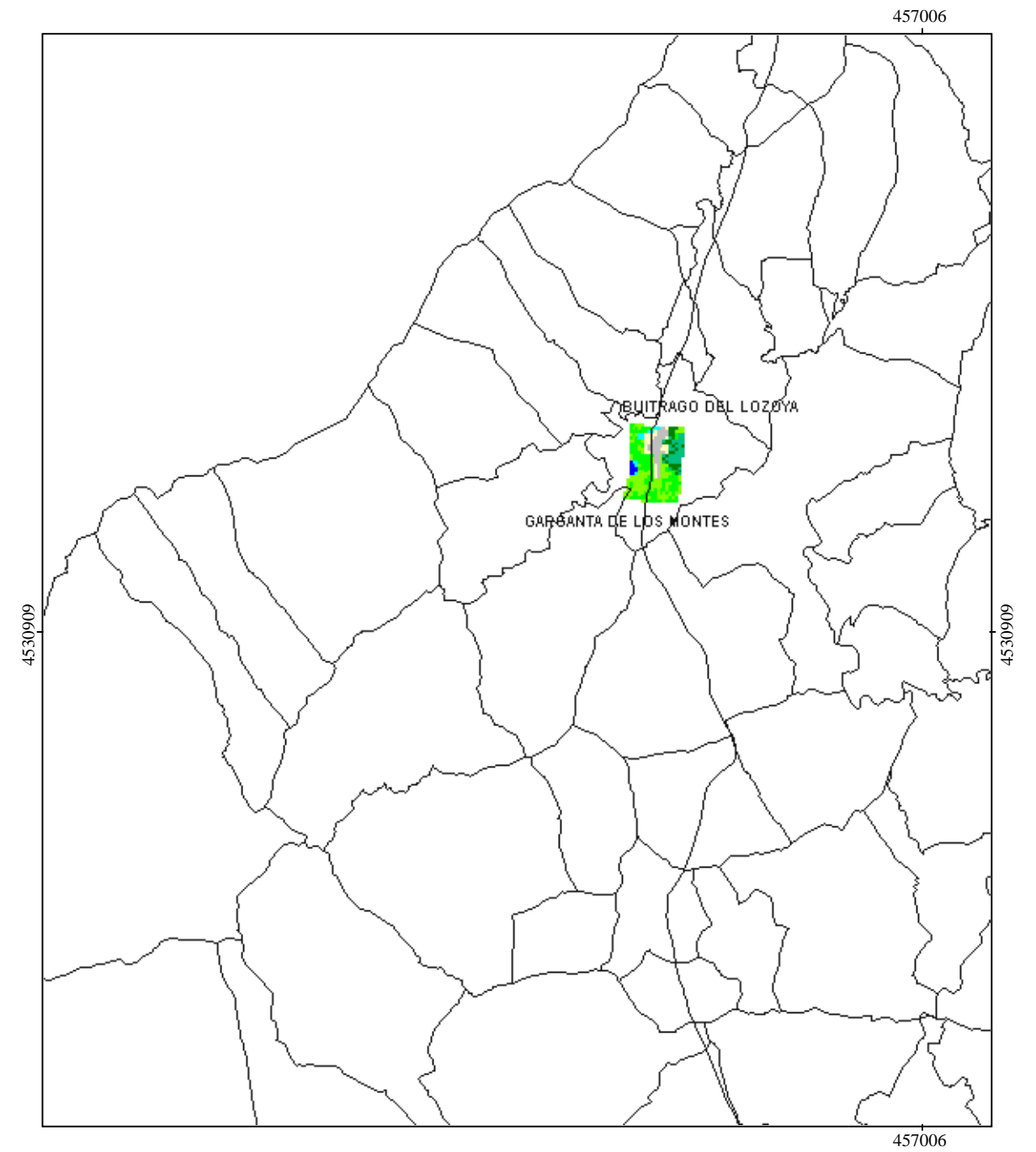
Escala 1:650000

mapa 79: Usos Suelo Corona 21



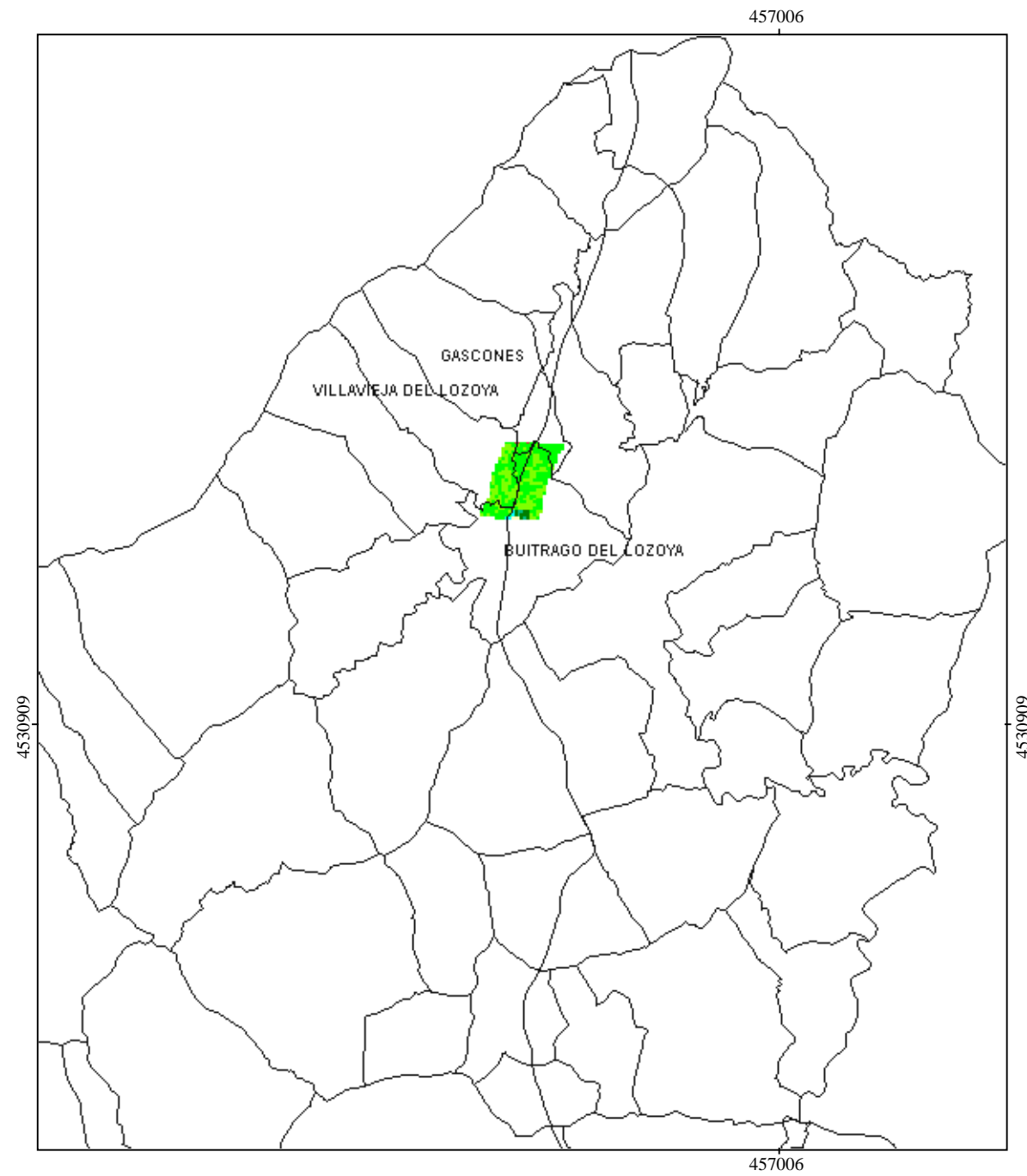
Escala 1:650000

mapa 80: Usos Suelo Corona 22



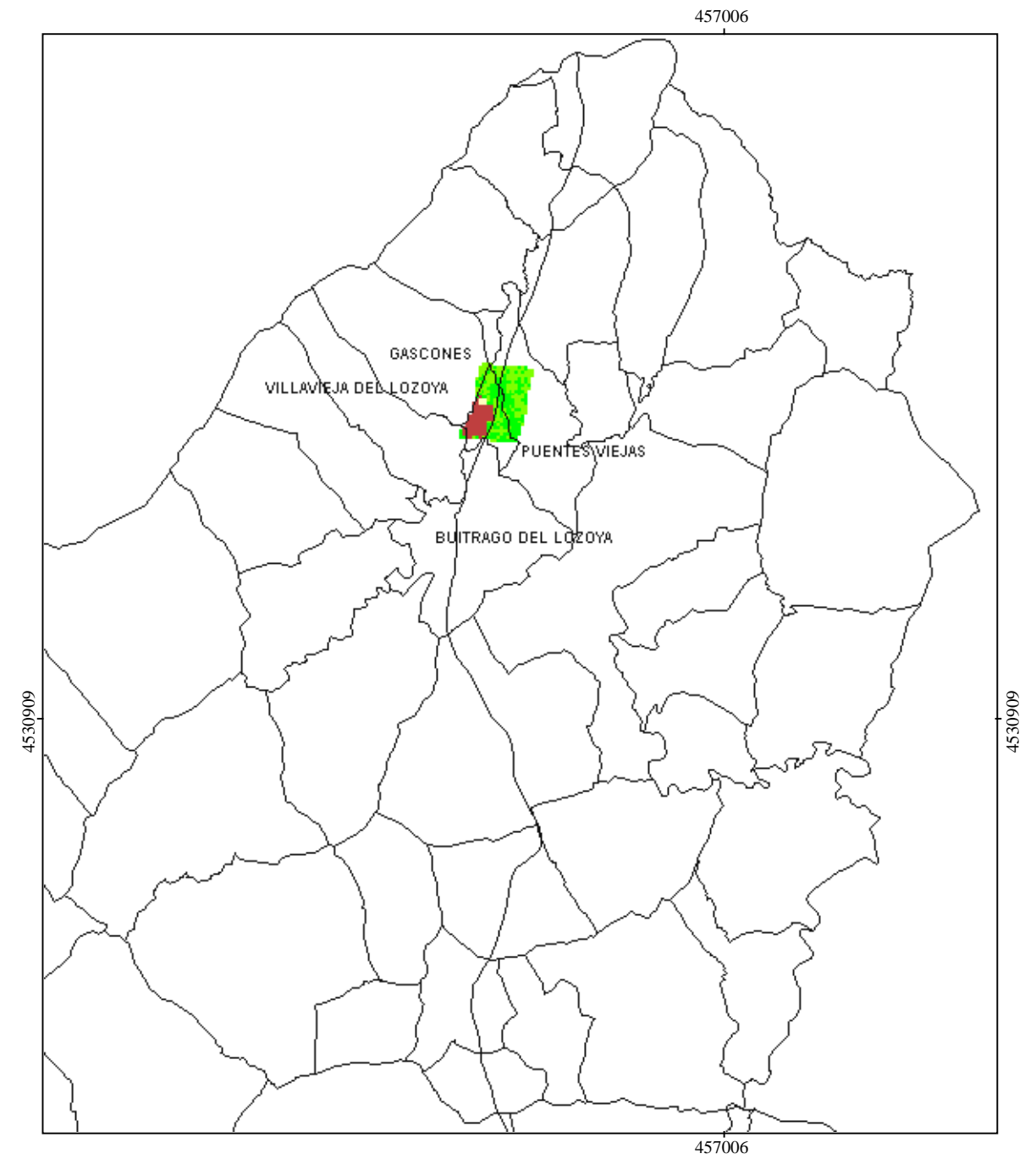
Escala 1:250000

mapa 81: Usos Suelo Corona 23



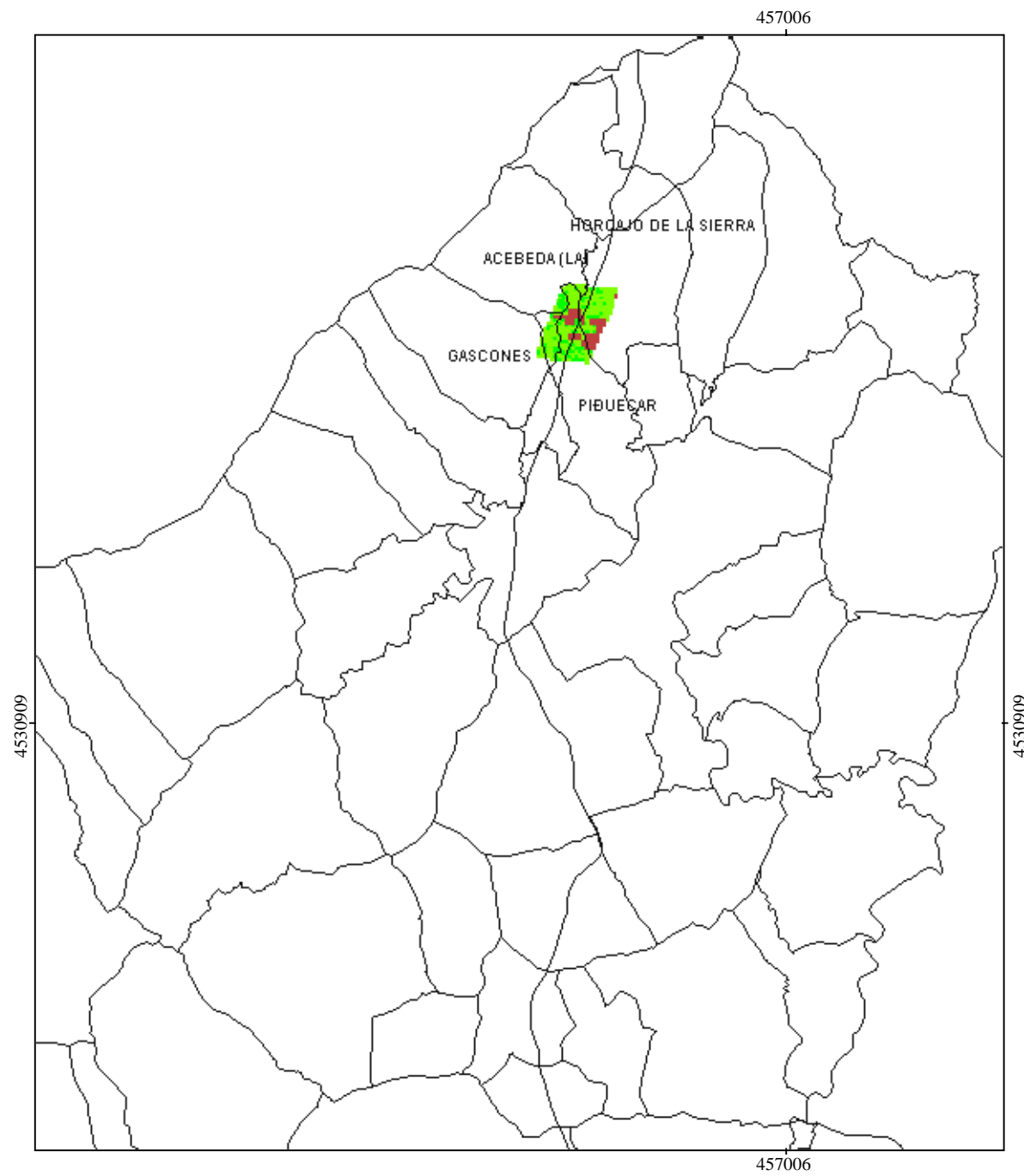
Escala 1:250000

mapa 82: Usos Suelo Corona 24



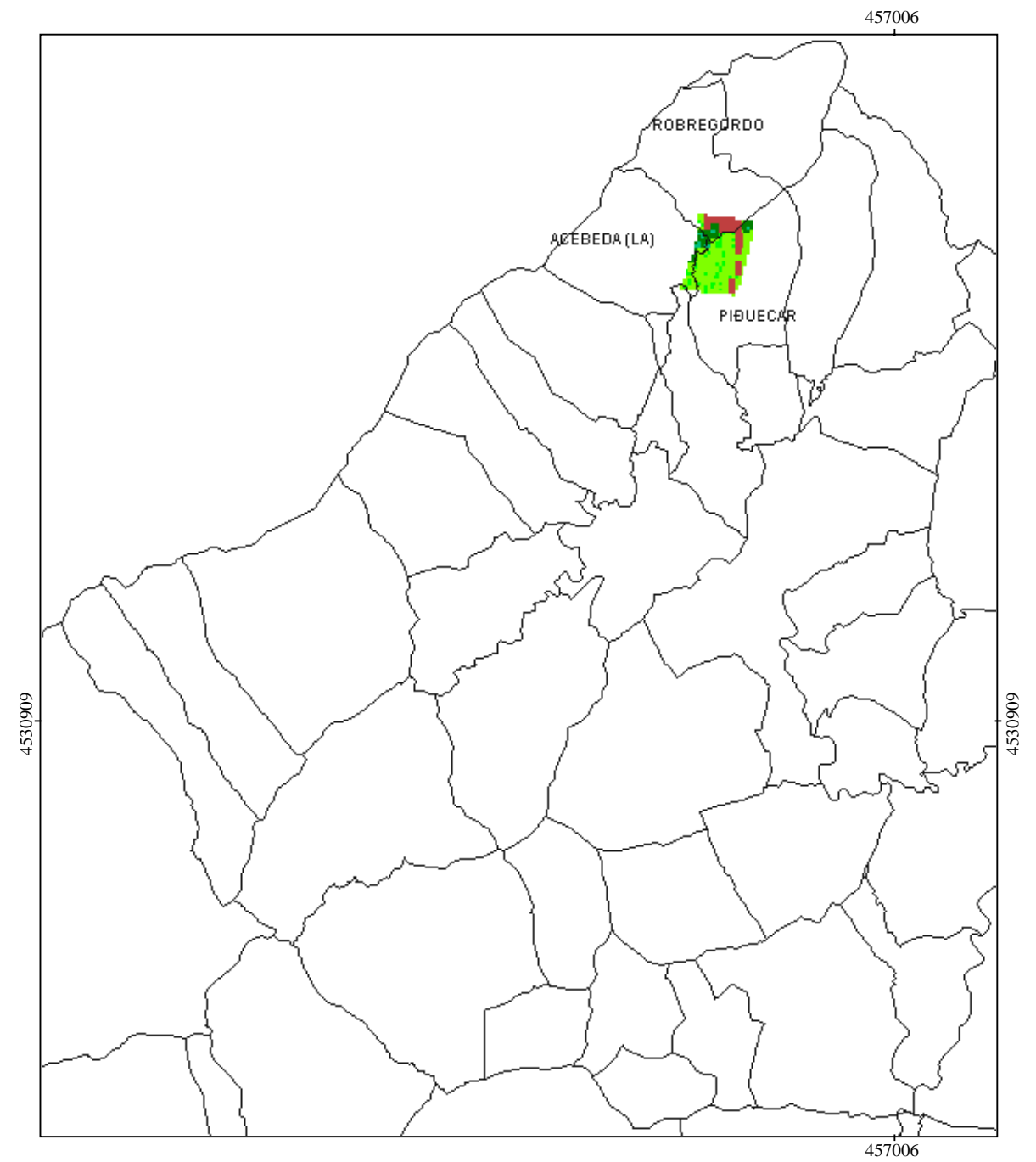
Escala 1:250000

mapa 83: Usos Suelo Corona 25



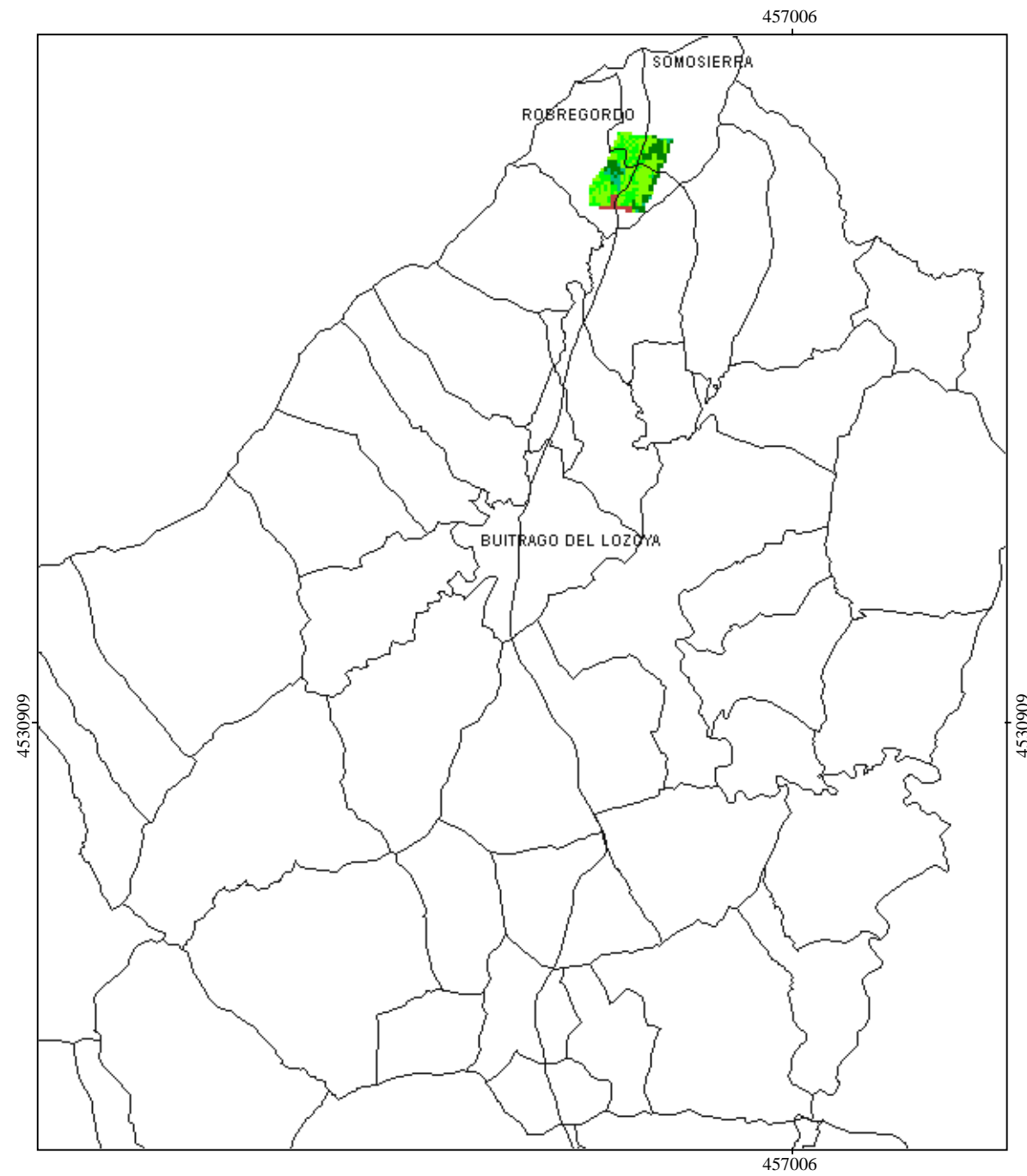
Escala 1:250000

mapa 84: Usos Suelo Corona 26



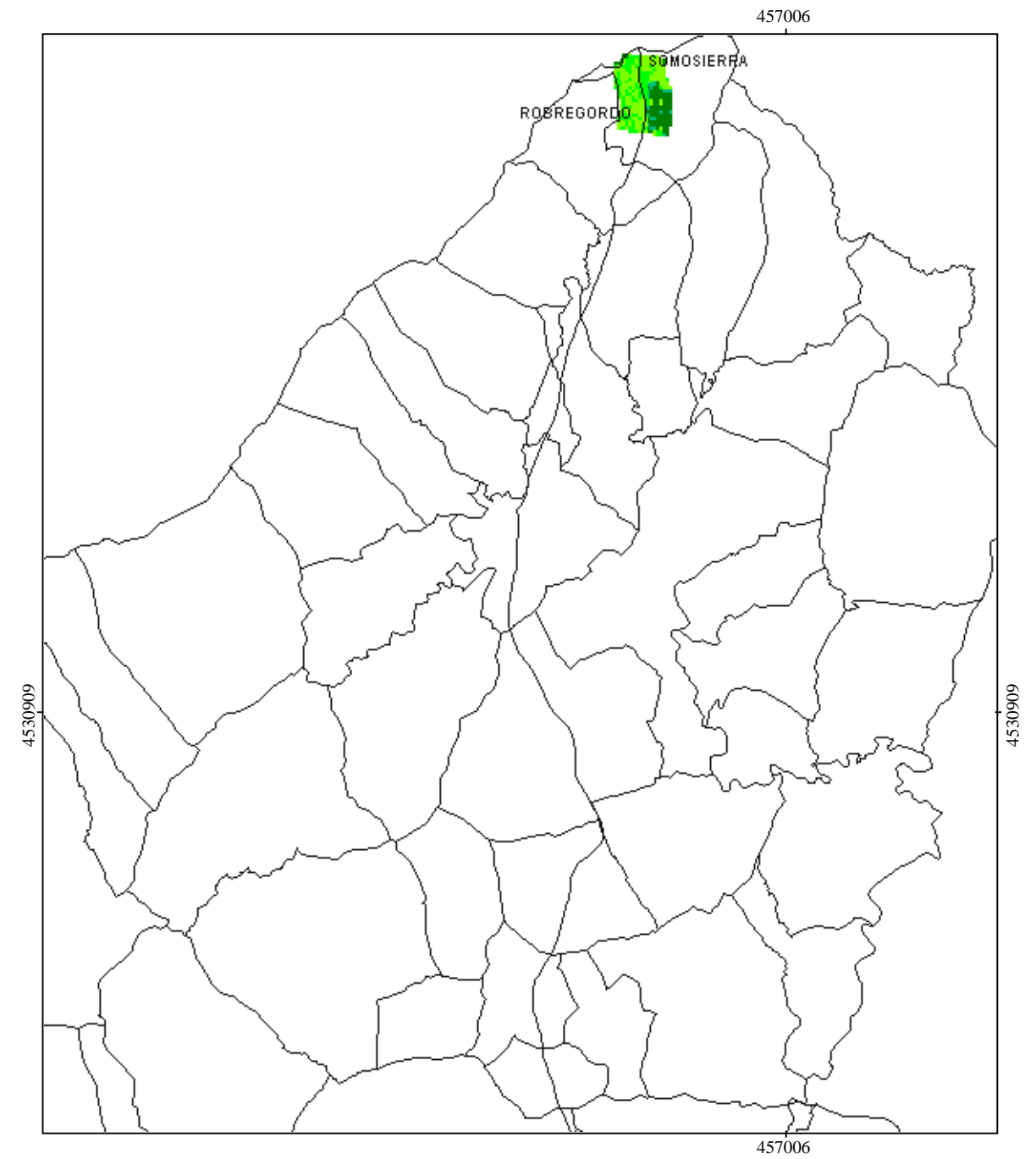
Escala 1:250000

mapa 85: Usos Suelo Corona 27



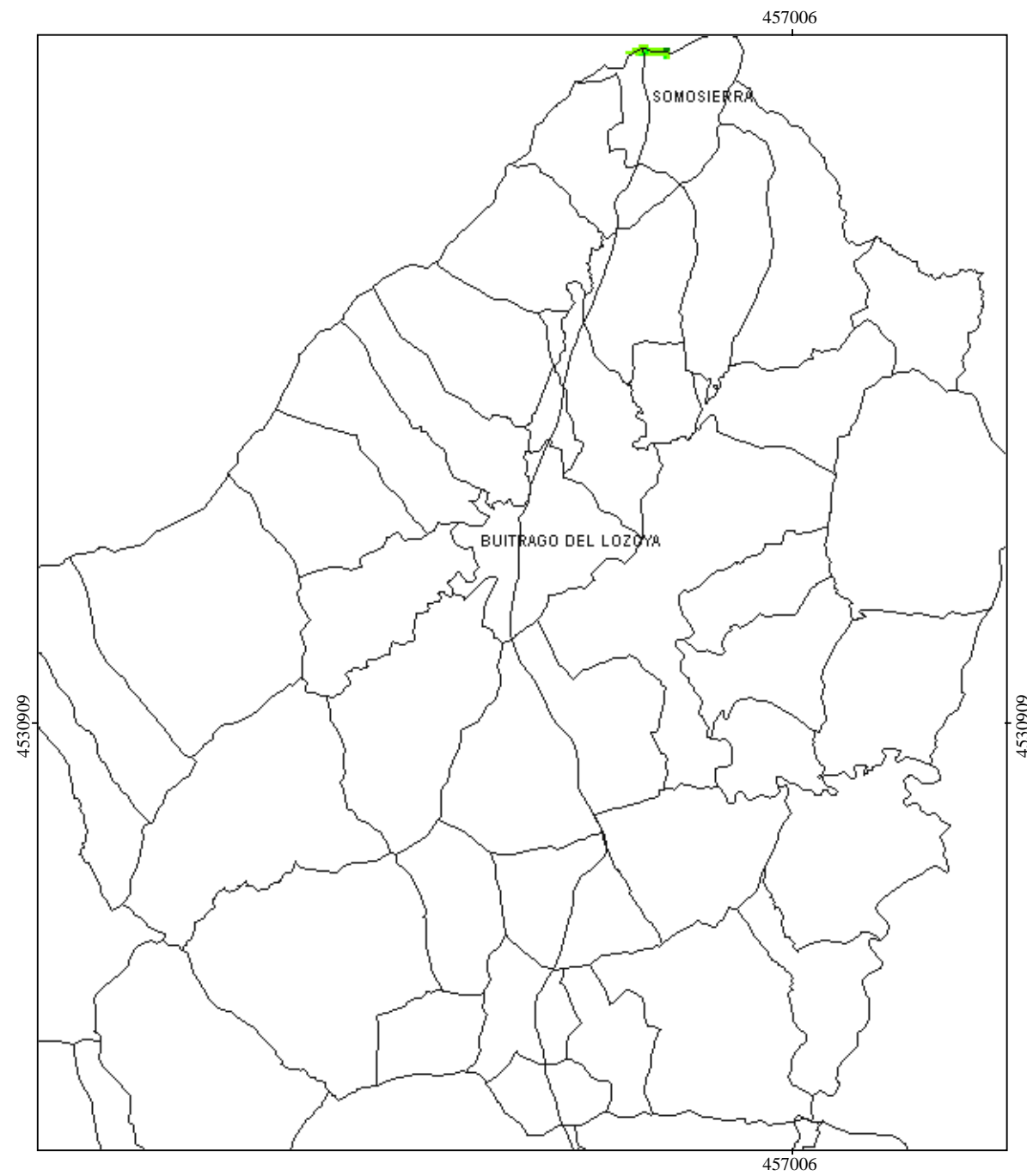
Escala 1:250000

mapa 86: Usos Suelo Corona 28



Escala 1:250000

mapa 87: Usos Suelo Corona 29



Escala 1:250000